

HELSINGIN YLIOPISTO

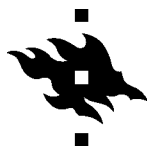
Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos

EKT-sarja 1843

**UUNIJUURESTEN PÄÄLLYSTÄMINEN SYÖTÄVILLÄ
PÄÄLLYSTEILLÄ**

Eija Tuukkanen

Helsinki 2018



| | | |
|---|-----------------------------|--|
| Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty | | Laitos/Institution – Department |
| Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta | | Elintarvike- ja ravitsemustieteiden osasto |
| Tekijä/Författare – Author | | |
| Eija Tuukkanen | | |
| Työn nimi / Arbetets titel – Title | | |
| Uunijuuresten päällystäminen syötävillä päällysteillä | | |
| Oppiaine / Läroämne – Subject | | |
| Elintarviketeknologia (yleinen elintarviketeknologia) | | |
| Työn laji/Arbetets art – Level | Aika/Datum – Month and year | Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages |
| Maisterintutkielma | Toukokuu 2018 | 68 |
| Tiivistelmä/Referat – Abstract | | |
| <p>Syötävällä päällysteellä tarkoitetaan päällystettä, joka lisätään suoraan elintarvikkeen pinnalle, jolloin päällyste on osa elintarviketta ja sitä ei poisteta ennen syömistä. Tutkielman kirjallisuussosassa perehdyttiin syötäviin päällysteisiin käytettäviin materiaaleihin, syötävien päällysteiden valmistukseen ja käyttösovelluksiin. Kokeellisen osan tavoitteena oli tutkia erilaisten päällystysmateriaalien soveltuvuutta syötävänä päällysteenä pilkottujen porkkanoiden ja palsternakkojen pinnalla ja paistamisen vaikutusta päällysteeseen sekä päällystettyyn juurekseen. Juurekset päällystettiin kolmella eri emulsiolla, jotka olivat valmistettu soijaproteiini-isolaatista, kitosaanista ja hydroksipropyylimetyyliseluloosasta (HPMC K4M). Lisäksi päällysteisiin lisättiin timjamiöljyä lähinnä antamaan aromia. Kokeessa oli mukana myös päällystämättömät juurekset. Näytteitä säilytettiin muovipussissa tai ilman muovipussia. Säilyvyyttä mitattiin kosteuden haihtumisen aiheuttamana painon muutoksena. Paistamisen vaikutusta tutkittiin punnitsemalla, rakenne- ja värimittauksilla.</p> <p>Kaikki tutkimuksessa mukana olleet päällysteet paransivat juuresten ulkonäköä paistamisen jälkeen, ja ne eivät vaikuttaneet uunijuuresten makuun heikentävästi. Kitosaania voidaan pitää potentiaalisena päällysteenä pilkotuille ja paistetuille uunijuureksille tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella, joskin lisätutkimuksia tarvitaan, jotta uunijuureksille saataisiin aikaan taroituksenmukainen syötävä päällyste. Säilyvyyttä mitattaessa painohäviön avulla oli havaittavissa, että pussilla oli suuri merkitys juuresten kosteuden säilymiseen. Väritään pussitetut päällystetyt porkkanat olivat punaisempia kuin pussitetut päällystämättömät porkkanat. Väri säilyi päällystetyksen ansiosta, ja juuresten pinta ei kuivunut. Lisäksi pussittomat juurekset olivat rakenteeltaan huomattavasti kovempia kuin pussilliset juurekset.</p> <p>On haasteellista kehittää pilkotuille ja paistettaville kasviksille sopiva syötävä päällyste. Päällysteen tulee pysyä kasviksen pinnalla ja päällysteen ominaisuudet pitää olla juuri oikeanlaiset kyseiselle kasvikselle ottaen huomioon kasviksen kosteus, soluhengitys ja käyttötarkoitus.</p> | | |
| Avainsanat – Nyckelord – Keywords | | |
| Syötävä päällyste, porkkana, palsternakka, pilkotut juurekset, paistaminen, kovuus, väri | | |
| Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited | | |
| Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto, Helda | | |
| Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information | | |
| EKT-sarja 1843 | | |



| | | | |
|---|-----------------------------|--|--|
| Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty | | Laitos/Institution – Department | |
| Faculty of Agriculture and Forestry | | Department of Food and Nutrition | |
| Tekijä/Författare – Author | | | |
| Eija Tuukkanen | | | |
| Työn nimi / Arbetets titel – Title | | | |
| Edible coatings for oven roasted vegetables | | | |
| Oppiaine /Läroämne – Subject | | | |
| Food Technology (General Food Technology) | | | |
| Työn laji/Arbetets art – Level | Aika/Datum – Month and year | Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages | |
| M. Sc. Thesis | May 2018 | 68 | |
| Tiivistelmä/Referat – Abstract | | | |
| <p>An edible coating is defined as a thin layer of material, which can be eaten as part of the whole product. The literature review focused on edible coating materials, the preparation of the coatings and coating applications. The aim of the experimental work was to determine the suitability of different coating materials as an edible coating on the surface of the fresh cut carrots and parsnips and how roasting affected the coatings and coated root vegetables. The root vegetables were coated with three types of emulsions which were made from the soy protein isolate, chitosan and hydroxypropyl methylcellulose (HPMC K4M) using the dipping method. Furthermore, the thyme essential oil was added to the coatings, mainly to provide aroma. The study also contained uncoated root vegetables. The samples were stored in a plastic bag or without a plastic bag. The shelf life of root vegetables was measured as the change in the weight caused by the loss of water vapor. The effect on the roasting was studied by baking loss, firmness and colour measurements.</p> <p>All tested coatings improved the appearance of root vegetables after the roasting and they did not impair the taste of root vegetables. The chitosan coating was the most suitable for the fresh cut and roasted root vegetables though further studies are needed to achieve optimal edible coatings for roasting. The coated carrots in a bag were redder than the uncoated carrots in a bag thus the colour was better preserved in the coated carrots. The coating itself was not enough to keep the root vegetables fresh during the storage. After roasting the root vegetables without the bag were considerably harder than the root vegetables in the bag.</p> <p>It is challenging to develop edible coatings suitable for the fresh cut and roasted vegetables. Coating has to stay on the surface of the vegetable and the properties of the coating must be designed for the vegetable in question. The moisture, respiration and purpose of use of the vegetable must be taken into consideration when developing such a coating.</p> | | | |
| Avainsanat – Nyckelord – Keywords | | | |
| Edible coating, carrot, parsnip, fresh cut, roasting, vegetables, colour, hardness | | | |
| Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited | | | |
| The Digital Repository of University of Helsinki, Helda | | | |
| Muuta tietoa – Övriga uppgifter – Additional information | | | |
| EKT Series 1843 | | | |

ESIPUHE

Tämä maisterintutkielma tehtiin Helsingin yliopiston elintarvike- ja ympäristötieteen laitoksessa. Tutkimusaiheen esittivät yliopistonlehtori Kirsi Jouppila ja yliopistonlehtori Hanna Koivula, jotka toimivat myös työn ohjaajina. Työn valvojana toimi yliopistonlehtori Kirsi Jouppila.

Kiitän lämpimästi kaikkia heitä, jotka opastivat ja auttoivat työni edetessä etenkin elintarviketeknologian laitoksen henkilökuntaa. Kiitän ohjaajia yliopistonlehtori Kirsi Jouppilaa ja yliopistonlehtori Hanna Koivulaa mielenkiintoisesta ja haastavasta aiheesta ja opastuksesta.

Helsingissä 7.5.2018

Eija Tuukkanen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

| | |
|--|----|
| ESIPUHE..... | 4 |
| 1 JOHDANTO..... | 7 |
| 2 KIRJALLISUUSKATSAUS..... | 8 |
| 2.1 Syötävät päällysteet ja niiden valmistusmateriaalit..... | 8 |
| 2.1.1 Polysakkaridipohjaiset päällysteet..... | 9 |
| 2.1.2 Proteiinipohjaiset päällysteet..... | 12 |
| 2.1.3 Lipidipohjaiset päällysteet..... | 14 |
| 2.1.4 Yhdistelmäpäällysteet ja emulsiot..... | 15 |
| 2.1.5 Nanomateriaalit..... | 16 |
| 2.1.6 Syötävissä päällysteissä käytettävät lisäaineet..... | 17 |
| 2.2 Syötävien päällysteiden valmistus, levitys ja ominaisuudet..... | 19 |
| 2.2.1 Syötävien päällysteiden valmistus..... | 19 |
| 2.2.2 Syötävien päällysteiden levitys..... | 21 |
| 2.2.3 Syötävien päällysteiden ominaisuuksia..... | 22 |
| 2.3 Kasvisten päällystäminen syötävillä kalvoilla ja päällysteiden käyttösovelluksia.... | 24 |
| 2.3.1 Kasviksilla käytettyjä syötäviä päällysteitä..... | 24 |
| 2.3.2 Kaupallisia päällystyssovelluksia..... | 26 |
| 2.3.3 Paistosovellukset ja paistamisen vaikutus syötäviin päällysteisiin..... | 28 |
| 2.3.4 Paistamisen vaikutus kasviksiin..... | 31 |
| 3 KOKEELLINEN TUTKIMUS..... | 32 |
| 3.1 Materiaalit ja menetelmät..... | 32 |
| 3.1.1 Esikokeet..... | 32 |
| 3.1.2 Varsinaiset kokeet..... | 39 |
| 3.2 Tulokset..... | 44 |

| | |
|---|----|
| 3.2.1 Pakkauksen kaasukoostumus | 44 |
| 3.2.2 Painohäviö..... | 46 |
| 3.2.3 Rakenne..... | 48 |
| 3.2.4 Paistohäviö | 51 |
| 3.2.5 Väri..... | 54 |
| 3.2.6 Aistinvarainen havainnointi | 57 |
| 3.3 Pohdinta | 59 |
| 4 PÄÄTELMÄT | 63 |
| LÄHDELUETTELO | 64 |

1 JOHDANTO

Kuluttajat suosivat yhä enemmän tuoreita, korkealaatuisia ja helposti käytettäviä vihanneksia kiireisen elämäntyylin lisääntyessä. Tämä on lisännyt vähän käsiteltyjen ja heti käyttövalmiiden kasvien kysyntää, joten tutkimusta on tehty syötävien kalvojen ja päällysteiden vaikutuksesta säilyvyyteen viime aikoina paljon. Kuorinta poistaa vihanneksen pintaa suojaavan kuoren, jolloin tuote kuivuu ja altistuu helpommin pilaaville mikrobeille. Suojaavan kuorikerroksen poistaminen aiheuttaa myös hapettumista ja lisää soluhengitystä, jolloin proteiinien, hiilihydraattien ja lipidien hajoaminen lisääntyy aiheuttaen sivumakuja (Li ja Barth 1998).

Syötävät kalvot ja päällysteet ovat elintarvikkeen pinnassa olevia ohuita yhtenäisiä kerroksia, jotka ovat syötävää materiaalia (Krochta 2002). Kirjallisuudessa termejä kalvo ja päällyste käytetään vaihtelevasti jopa toistensa synonyymeinä. Syötävä päällyste (engl. edible coating) lisätään suoraan elintarvikkeen pinnalle, jolloin se on osa elintarviketta ja sitä ei poisteta ennen syömistä. Yleensä syötävällä päällysteellä ei voida tai haluta kokonaan korvata pakkausta, vaan sillä pyritään parantamaan esim. kuoritun juuren laatua ja säilyvyyttä. Syötävällä kalvolla (engl. edible film) tarkoitetaan itsenäistä kalvoa, joka on valmistettu erillään päällystettävästä tuotteesta ennen käyttöä. Niitä voidaan käyttää suojuksena, kääreenä tai erottamaan elintarvikkeen osia toisistaan. Itsenäisten kalvojen avulla voidaan tutkia syötävien kalvojen ominaisuuksia kuten läpäisevyyttä, liukoisuutta ja mekaanisia ominaisuuksia (Krochta 2002). Tässä tutkielmassa käytetään termiä syötävä päällyste, jolla tarkoitetaan elintarvikkeen pinnalle lisättyä ohutta, syötävää kerrosta.

Syötäviä kalvoja ja päällysteitä voidaan valmistaa polysakkarideista, proteiineista, lipideistä tai näiden seoksista (Fernández-Pan ja Maté Caballero 2011). Yleisesti tuoreiden ja vähän käsiteltyjen vihannesten päällystäminen syötävällä päällysteellä hidastaa kypsymistä ja ruskeutumista sekä vähentää värin, maun, kosteuden ja kiinteyden häviämistä (Li ja Barth 1998). Oikein valitulla syötävällä päällysteellä estetään kosteuden haihtuminen, liuenneiden aineiden ja hapen liikkuminen vähentäen aineenvaihduntaa ja hapettumista.

Kasviksia voidaan luokitella eri tavalla. Kasviksiin kuuluvat vihannekset, sienet, marjat ja hedelmät (Kotimaiset kasvikset ry). Käyttötarkoituksen perusteella juureksia ovat kasvit, joiden syötävä osa on juurta tai verson alaosaa esim. porkkana, palsternakka, lanttu, punajuuri ja retiisi. Suomessa syödään eniten porkkanaa (*Daucus carota*) kaikista avomaalla viljeltävistä vihanneksista, koska sitä voidaan käyttää monipuolisesti ruoan valmistuksessa.

Porkkanan tavoin palsternakka (*Pastinaca sativa*) kuuluu sarjakukkaiskasveihin. Palsternakkaa käytetään vähän Suomessa ja sen tyypillisin käyttökohde on erilaiset liemet.

Sekä syötävillä päällysteillä päällystettyjä että uunissa paistettuja tuotteita on tutkittu vähän. Aikaisempien tutkimusten painopiste on ollut lähinnä uppopaistetuissa tuotteissa ja rasvan imeytymisen estämisessä niihin. Päällystettäessä paistettavia kasviksia tulee ottaa huomioon korkean lämpötilan aiheuttamat muutokset päällysteessä. Päällyste tuo lisäarvoa pilkotun kasviksen säilyvyydessä, mutta päällysteen tulee kestää paistaminen eikä aiheutta aistittavien ominaisuuksien heikentymistä.

Tutkielman kirjallisuusosassa perehdyttiin syötäviin päällysteisiin käytettäviin materiaaleihin, syötävien päällysteiden valmistukseen ja käyttösovelluksiin. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia erilaisten päällystysmateriaalien soveltuvuutta syötävänä päällysteenä pilkottujen ja kypsentämättömien juuresten pinnalla sekä paistamisen vaikutusta päällysteeseen ja päällystettyyn juurekseen. Esikokeilla valittiin sopivimmat päällystemateriaalit. Testattavina olivat hydroksipropyylimetyyliselluloosa (engl. hydroxypropyl methylcellulose, HPMC), metyyliiselluloosa, kitosaani ja arabikumi, jotka ovat polysakkaridipohjaisia päällystemateriaaleja. Hydroksipropyylimetyyliselluloosasta testattavana oli kolme erilaista elintarvikelaatuista materiaalia, jotka olivat K4M, E19 ja K99. Proteiinipohjaisista testattavina olivat soijaproteiini- ja heraproteiini-isolaatti, herne- ja perunaproteiini. Varsinaisiin kokeisiin valittiin kolme päällystykseen soveltuvaa materiaalia, joita olivat soijaproteiini-isolaatti, kitosaani ja HPMC K4M. Näistä päällystemateriaaleista valmistettiin emulsiot, joilla päällystettiin kuutioitua porkkanaa ja palsternakkaa. Päällysteisiin lisättiin timjamiöljyä ensisijaisesti maun antajana. Kokeessa oli mukana myös päällystämättömät juurekset. Säilyvyyskokeella selvitettiin kosteuden haihtumista päällystetystä ja päällystämättömästä juureksista varastoinnin aikana painon muutoksena. Paistamisen vaikutusta tutkittiin punnitsemalla, rakenne- ja värimittauksilla.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Syötävät päällysteet ja niiden valmistusmateriaalit

Syötävät päällysteet ovat elintarvikkeen pinnassa olevia ohuita yhtenäisiä kerroksia, jotka nautitaan elintarvikkeen mukana (Krochta 2002). Syötävät päällysteet syödään osana elintarviketta, joten niiden pitää täyttää elintarvikkeelle asetetut vaatimukset. Kaikki päällysteen

ainesosat pitää olla elintarvikekelpoisia ja hygieenisiiä, jotta niiden nauttiminen on turvallista. Euroopassa syötävien päällysteiden valmistusaineet luetaan suurimmaksi osaksi kuu-luvaksi lisäaineisiin, joita voidaan käyttää quantum satis -periaatteella eli päivittäistä käyt-tömäärää ei ole rajoitettu (EY 1995). Jos päällyste sisältää jotain tunnettua allergeenia tai intoleranssia aiheuttavaa ainetta, niin se on selvästi merkittävä näkyviin (Evira 2014). Tär-keimpiä allergeeneja ovat mm. maito, soijapavut, kala, kanamuna, äyriäiset, pähkinät ja glu-teenia sisältävät viljat. Euroopassa täytyy myös lisäaineet merkitä pakkaukseen joko nimellä tai E-koodilla.

Syötäviä päällysteitä valmistettaessa ainakin yhden komponentin täytyy pystyä muodosta-maan koossapitävä rakenne (Fernández-Pan ja Maté Caballero 2011). Yleisimmät materiaa-lit, joita käytetään kolmiulotteisen rakenteen muodostamiseen, ovat biopolymeereja ja lipi-dejä. Materiaalien tulisi liueta ja dispergoitua veteen, alkoholiin, näiden seokseen tai muihin liuotinseoksiin (Dhall 2013). Valmistuksen apuaineina voidaan käyttää mm. pehmittimiä, antimikrobisia aineita, mineraaleja, vitamiineja, väriaineita tai aromeja. Päällysteiden val-mistuksessa voidaan joutua säätämään pH:ta ja/tai lämmittämään liuosta, jotta valmistusai-neet saadaan sekoittumaan keskenään. Päällysteliuos lisätään elintarvikkeen pintaan kasta-malla, suihkuttamalla, harjaamalla tai rumpupäällystyksellä, ja päällystyksen jälkeen tuote kuivataan.

Syötävien päällysteiden tarkoituksena on vähentää kosteuden haihtumista tuotteesta sekä ha-pen ja aromin läpäisevyyttä ja siten parantaa tuotteen laatua ja säilyvyyttä (Krochta 2002). Näitä päällysteitä valmistetaan elintarvikelaatuisista biohajoavista materiaaleista. Bioha-joavuudella tarkoitetaan päällystemateriaalin hajoamista mikrobien ja niiden tuottamien ent-syymien toiminnan tuloksena. Valmistusmateriaaleina ovat polysakkarideja, proteiineja ja lipidejä tai näiden seoksia (Rojas-Graü ym. 2012). Valmistusmateriaalit määräävät kalvojen ominaisuudet, joten materiaaleja yhdistelemällä saadaan säädettyä ominaisuuksia haluttuun suuntaan.

2.1.1 Polysakkaridipohjaiset päällysteet

Polysakkarideista valmistettuja päällysteitä käytetään yleisimmin vähän käsitellyillä tuot-teilla, ja ne ovat kaasutiiviitä (Rojas-Graü ym. 2012). Polysakkaridit ovat hydrofiilisiä, joten niiden vesihöyrynläpäisevyys on selvästi korkeampi kuin muovista valmistetuilla kalvoilla.

Vähän käsiteltyjen hedelmien ja vihanneksien päällystämiseen on käytetty esimerkiksi kasveista peräisin olevia materiaaleja kuten selluloosaa ja sen johdannaisia, pektiiniä, kasvikuveja, tärkkelystä ja sen johdannaisia, äyriäisistä peräisin olevaa kitosaania ja merilevästä saatavia alginaattia ja karrageenia. Hiilihydraattien rakenteessa olevat lukuisat hydroksyyli-ryhmät tai muut hydrofiiliset osat, jotka muodostavat vetysidoksia, vaikuttavat kalvon muodostumiseen ja kalvon ominaisuuksiin merkittävästi (Han ja Gennadios 2005).

Selluloosa on yleisimmin luonnossa esiintyvä biopolymeeri (Fernández-Pan ja Maté Caballero 2011). Se on lineaarinen ja molekyylipainoltaan suuri polymeeri, joka muodostuu D-glukoosiyksiköistä β -1,4-glukosididoksilla. Sen rakenne on kiteinen, kuitumainen ja liukeneen veteen (Rojas-Graü ym. 2011). Elintarvikesovelluksiin käytettyjä selluloosa johdannaisia ovat metyyliiselluloosa (engl. methylcellulose, MC), etyyliiselluloosa (engl. ethylmethylcellulose, EMC), hydroksipropyylimetyyliiselluloosa (HPMC), hydroksipropyliiselluloosa (engl. hydroxypropylcellulose, HPC) ja natriumkarboksimeetyyliiselluloosa (engl. sodium carboxymethylcellulose, CMC) (Soliva-Fortuny ym. 2012). Vaihtelemalla metyyli-, hydroksipropyli- ja karboksimeetysubstituutiota voidaan muuttaa fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia kuten veden pidätyskykyä, liukenevuutta, liukenemislämpötilaa, geeliytymisominaisuuksia ja liukenevuutta vedettömiin systeemeihin. MC, HPMC ja HPC ovat ionittomia eettereitä, joilla ovat hyvät kyky muodostaa syötäviä päällysteitä. Ne muodostavat kestäviä, joustavia ja läpinäkyviä päällysteitä, jotka liukenevat veteen ja kestävät rasvoja ja öljyjä.

Tärkkelystä esiintyy runsaslukuisena energiavarastona viljoissa, kuten vehnässä, maississa ja riisissä, palkokasveissa ja juurimukuloissa kuten perunassa, kassavassa ja jamssissa. Raaka-aineena se on edullista ja biohajoavaa. Tärkkelys muodostuu amyloosista ja amylopektiinistä. Tärkkelyksestä valmistetut päällysteet ovat läpinäkyviä, hajuttomia, mauttomia, värittömiä ja eivät läpäise happea matalassa suhteellisessa kosteudessa (Myllärinen ym. 2002). Yksinomaan tärkkelyksestä ei pystytä valmistamaan kalvoja, jotka ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan kestäviä (Dhall 2013). Tärkkelystä voidaan käyttää päällystemateriaalina, jos siihen lisätään pehmittimiä, sekoitetaan toisten valmistusmateriaalien kanssa, modifioidaan kemiallisesti tai edellä mainittuja yhdistelmiä käyttäen.

Pektiini on kompleksinen anioninen polysakkaridi, joka koostuu galakturonihappotähteistä, joissa esteröitymisaste vaihtelee vaikuttaen käyttäytymiseen päällysteenä (Dhall 2011). Pektiiniä, joka on esteröitynyt rakenteestaan alle 50 % ja kalsiumin läsnä ollessa, käytetään syö-

tävissä päällysteissä (Rojas-Graü ym. 2011). Kaupallista pektiiniä saadaan omenan puristusjätteestä ja sitrushedelmien kuorista. Esimerkiksi pektiinistä valmistettu syötävä päällyste lisäsi avokadojen säilyvyyttä (Maftoonazad ym. 2007).

Kitosaani on kuitumainen, myrkytön ja biohajoava polymeeri, jota saadaan deasetyloimalla kitiniä (Simões ym. 2009; Soliva-Fortuny ym. 2012). Kitiniä esiintyy äyriäisten ulkoisessa tukirangassa, sienten ja viherlevien soluseinien komponenttina. Kitosaania on tutkittu paljon päällystemateriaalina, koska se muodostaa kalvoja ja päällysteitä, jotka eivät liukene veteen. Kitosaani muodostaa viskooseja liuoksia useiden orgaanisten happojen kanssa, ja kalvoja valmistettaessa on käytetty liuottimena etikkahappoa ja maitohappoa (Tamer ja Çopur 2010). Durangon ym. (2006) mukaan kitosaanilla oli myös antimikrobisia ominaisuuksia. Kitosaanipäällyste (1,5 %) esti koliformisten- ja maitohappobakteerien kasvua kuorituissa ja viipaloiduissa porkkanoissa.

Merilevistä saadaan uuttamalla alginaattia ja karrageenia, joista voidaan valmistaa syötäviä päällysteitä (Fernández-Pan ja Maté Caballero 2011). Alginaatit ovat algiinihapon suoloja (Dhall 2011). Alginaatti on D-mannouronihapon ja L-guluronihapon lineaarinen kopolymeeri. Alginaattien ominaisuus muodostaa geelejä on seurausta niiden kyvystä sitoa divalentteja kationeja, kuten kalsiumia (Rojas-Graü ym. 2011). Lisäksi korkea guluronihapon osuus polymeeriketjuissa lisää kalsiumin sitoutumista ja vahvistaa geelejä. Alginaatilla on hyvät kalvonmuodostusominaisuudet, ja siitä valmistetut päällysteet ovat tasaisia, läpinäkyviä ja vesiliukoisia. Alginaattipäällysteet ovat hyviä happibarieereja ja rasvaa kestäviä, mutta ne läpäisevät helposti vesihöyryä (Jost ym. 2014). Hydrofiilisenä polysakkaridina alginaattipäällysteeseen tarvitaan pehmittimiä lisäämään päällysteen joustavuutta ja vähentämään haurautta (Dea ym. 2012). Lisäksi päällystemateriaaliin lisätty lipidi parantaa tiiviyyttä vesihöyrylle. Merilevistä saatava karrageeni on kompleksiseos useasta vesiliukoisesta galaktoosipolymeeristä, joiden liukoisuus määräytyy sulfaattiestereiden määrästä ja saatavilla olevista kationeista (Soliva-Fortuny ym. 2012). Puhdistetut karrageenit tuottavat kirkkaita liuoksia, joten niistä tehdyt päällysteet ovat läpinäkyviä ja kirkkaita (Fernández-Pan ja Maté Caballero 2011). Pehmittimiä tarvitaan parantamaan päällysteiden mekaanisia ja rakenteellisia ominaisuuksia.

Polysakkaridikumeja on tutkittu syötävinä päällysteinä, koska ne ovat biohajoavia (Mellinas ym. 2016). Kumit muodostavat geelejä, viskooseja liuoksia tai stabiloivat emulsioita. Mei ym. (2002) kehittivät pilkottuja baby-porkkanoita päällystämään mikrobeilla tuotetusta ksantaanikumista päällysteen, jossa päällyste toimi kalsiumin ja E-vitamiinin kantajana.

2.1.2 Proteiinipohjaiset päällysteet

Syötäviä päällysteitä voidaan valmistaa erilaisista proteiineista. Proteiinit denaturoidaan kuumentamalla, hapolla, emäksellä tai liuottimella, jotta saadaan aikaan kalvon muodostava rakenne (Han ja Gennadios 2005). Proteiinipohjaisia päällystemateriaaleja saadaan sekä eläin- että kasvipöeräisistä proteiineista (Pérez-Gago 2012). Kasvipöeräisiä proteiineja saadaan mm. maissista, vehnästä, soijasta, puuvillansiemenistä, riisistä ja herneistä. Eläinperäisiä proteiineja ovat esim. maidosta saatavat kaseiini ja heraproteiini, kollageeni, gelatiini ja kananmunan valkuaisproteiini. Proteiinista valmistetut päällysteet ovat yleensä hydrofiilisiä, joten niihin imeytyy helposti kosteutta, mutta niillä on pieni läpäisevyys hapelle, aromeille ja öljyille (Krochta 2002).

Zeiiniä on maissin endospermissä, ja se koostuu alkoholiin liukenevista proteiineista eli prolaminiineista (Pérez-Gago 2012). Zeiiniä saadaan maissin märkäjauhatuksen sivutuotteena (Buffo ja Han 2005). Zeinikalvot ovat hauraita huoneenlämmössä, ja niitä voidaan valmistaa alkoholiliuoksesta, johon lisätään pehmittimiä kuten glyserolia tai polyetyleeniglykolia lisäämään joustavuutta (Fernández-Pan ja Maté Caballero 2011; Padua ja Wang 2002). Pehmittimen lisäys vaikuttaa sekä mekaanisiin että barriereeriominaisuuksiin. Zeinikalvojen vetolujuus vaihtelee olennaisesti ilmankosteuden ja lämpötilan mukaan ollen samanlainen kuin vehnägluteenikalvojen vetolujuus ja matalampi kuin metyyliiselluloosa- ja hydroksimetyyliiselluloosakalvoilla. Zeinikalvot ovat herkkiä kosteudelle, vaikka zeini on veteen liukeneva. Zeinikalvoilla vesihöyrynläpäisevyys arvot ovat pienempiä tai samanlaisia kuin muilla proteiinikalvoilla, selluloosaestereillä ja sellofaanilla, mutta ne ovat suurempia kuin LDPE:llä (engl. low density polyethylene, LDPE) (Padua ja Wang 2002).

Vehnän gluteeni koostuu useista polypeptidimolekyyleistä, ja sitä saadaan märkäjauhatuksessa tärkkelystuotannon sivutuotteena (Guilbert ym. 2002). Vehnägluteenipohjaiset kalvot ja päällysteet ovat läpinäkyviä, homogeenisiä ja mekaanisesti vahvoja. Ne ovat biohajoavia, bioyhteensopivia ja syötäviä. Vehnägluteenikalvoilla vesihöyrynläpäisevyys on sama kuin muilla proteiini- tai polysakkaridipohjaisilla kalvoilla, joten korkeassa suhteellisessa kosteudessa niiden vesihöyrynläpäisevyys on suuri (Pérez-Gago 2012). Gluteenipäällysteiden valmistuksessa käytetään pehmittimiä, jotta päällysteet eivät ole hauraita (Buffo ja Han 2005). Tanada-Palmun ym. (2000) mukaan päällysteiden kaasusuojaominaisuudet heikkenivät glyserolipitoisuuden noustessa. Gluteenista valmistetut päällysteet hidastivat kirsikkomaattien ja sharon-hedelmien painohäviötä verrattuna päällystämättömiin tuotteisiin kahden viikon säilytyksen aikana.

Soijapavuista saadaan proteiinipitoisia päällystemateriaaleja. Soijajauho sisältää proteiinia 50–59 %, soijaproteiinikonsentraatti 65–72 % ja soijaproteiini-isolaatti yli 90 % (Park ym. 2002). Proteiinipitoisuus kalvonmuodostuksessa on tärkeä tekijä, sillä mitä korkeampi proteiinipitoisuus sitä parempi kalvonmuodostuskyky (Rayner ym. 2000). Proteiinipitoisuuden noustessa myös kalvon vetolujuus ja murtovenymä kasvavat (Pérez-Gago 2012). Soijaproteiini-isolaattikalvot ovat läpinäkyviä ja joustavia, jos valmistuksessa on käytetty pehmittimiä. Soijaproteiinikalvoilla on samanlainen hapenläpäisevyys kuin vehnän gluteenikalvoilla mutta alempi kuin zeinikalvoilla. Raynerin ym. (2000) tutkimuksessa rasvan imeytyminen väheni soijaproteiini-isolaatilla yksinään tai glyseriinin ja gellaanikumin kanssa päällystettyihin uppopaistettuihin ranskanperunoihin ja donitseihin.

Herneproteiini koostuu ensisijaisesti globuliineista (>80 % kokonaisproteiinista) ja pieni osa on albumiineja (Buffo ja Han 2005). Herneproteiinilla on globulaarinen rakenne, jonka pitää avautua emäksisissä olosuhteissa muodostaakseen kalvon. Proteiinin denaturoiminen kuumentamalla (90 °C) lisää kalvon vetolujuutta ja vähentää vesihöyryn läpäisevyyttä. Kowalczykin ja Baraniakin (2011) tutkimuksen mukaan kuumentaminen tai emäksiset olosuhteet eivät kuitenkaan vaikuttaneet vesihöyryn läpäisevyyteen, mutta kuumennus paransi kalvon läpinäkyvyyttä.

Perunaproteiinia saadaan tärkkelystuotannon sivuvirtana. Perunaproteiinit luokitellaan kuuluvaksi patatiineihin (perunaglobuliini), proteaasi-inhibiittoreihin ja korkean molekyylipainon proteiineihin (Waglay ja Karboune 2016). Perunaproteiinit liukenevat ja saostuvat kullekin tyypillisellä pH-alueilla. Proteiinien erilaiset erotusmenetelmät vaikuttavat niiden toiminnallisiin ominaisuuksiin. Perunaproteiineja on käytetty emulgointiaineina ja vaahtojen stabilointiin.

Eläinperäisistä proteiineista heraproteiinia saadaan maidosta juuston valmistuksen yhteydessä (Lacroix ja Cooksey 2005). Heraproteiinikonsentraatti sisältää 25–80 % proteiinia, ja heraproteiini-isolaatti sisältää yli 90 % proteiinia. Heraproteiinikalvot ja päällysteet ovat läpinäkyviä, mauttomia ja joustavia, ja niillä on hyvät barriereiominaisuudet hapelle, aromeille ja öljylle (Pérez-Gago 2012). Heraproteiini-isolaattipäällysteillä on huonompi kosteudenkestävyys verrattuna muihin proteiinipäällysteisiin kuten vehnägluteeni-, soijaproteiini-, kaseiini- ja zeinipäällysteisiin. Kuumentamalla denaturoitu heraproteiinipäällyste on mekaanisilta ominaisuuksiltaan parempi kuin kuumentamaton, ja se on veteen liukenematon (Pérez-Gago ym. 1999).

Maidon proteiineista on kaseiinia noin 80 % (Fernández-Pan ja Maté Caballero 2011). Kaseiini sisältää vähän kysteiiniä, joten siinä on myös vähän rikkisiltoja, ja tästä johtuen sen sekundaarinen rakenne on avoin vyyhti (engl. random coil). Tästä johtuen kaseiinista vesiliuoksessa voidaan valmistaa päällysteitä ilman lisäkäsitteilyä. Kaseiinipohjaiset syötävät päällysteet ovat läpinäkyviä, mauttomia, joustavia ja hyviä kaasubarriereja (Vargas ym. 2008). Kaseiini liukenee hyvin veteen, joten se on herkkä kosteudelle (Pérez-Gago 2012). Chenin (2002) mukaan kaseinikalvojen vesihöyryn läpäisevyys oli selvästi suurempi kuin synteettisillä LDPE-kalvoilla, mutta se oli samaa luokkaa kuin vehnän gluteeni- ja soijaproteiini-isolaatti-kalvoilla ja huonompi kuin zeinikalvoilla. Avena-Bustillo ym. (1994) totesivat, että kalsium- tai natriumkaseinaatti-lipidiemulsiopäällyste vähensi merkittävästi vesihöyrynläpäisevyyttä ja vaalenemista kuorituilla porkkanoilla.

Kollageenia on perinteisesti käytetty syötävinä makkaran kuorina (Arvanitoyannis 2002). Kollageeni on säikeinen proteiini, jota on sekä selkärankaisten että selkärangattomien nahassa, jänteissä ja sidekudoksissa. Kollageeni on hydrofiilinen proteiini, koska se sisältää happamia, emäksisiä ja hydroksyloitua aminohappotähteitä. Kollageenista valmistetut kalvot ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan vahvoja. Kollageenikalvot ovat veteen liukenemattomia ja niillä on matalassa suhteellisessa kosteudessa hyvä happitiiviys, mutta ne kestävät huonosti kosteutta.

Gelatiini on proteiini, jota saadaan hydrolysoimalla kollageenia (Lacroix ja Cooksey 2005). Gelatiinin kalvonmuodostuskyky on hyvä, joten siitä saadaan mekaanisesti kestäviä kalvoja. Gelatiinista valmistetut syötävät päällysteet vähentävät kosteuden, hapen ja öljyn kulkeutumista. Gelatiini muodostaa kirkkaita, joustavia ja happea läpäisemättömiä kalvoja pehmittimien kanssa valmistettuna, mutta hapenläpäisevyys kasvaa suhteellisen kosteuden kasvaessa.

2.1.3 Lipidipohjaiset päällysteet

Hedelmiä on päällystetty lipidipohjaisilla päällysteillä jo pitkään. Lipidipohjaiset päällysteet ovat hydrofobisia, joten niillä ovat hyvät suojaominaisuudet kosteutta vastaan (Galgano ym. 2015). Tätä ominaisuutta on käytetty hedelmien ja vihannesten suojaamisessa kuivumiselta. Lipidipohjaiset päällysteet myös vähentävät soluhengitystä, jolloin säilyvyys paranee. Hydrofobisuudesta johtuen päällysteet ovat paksuja ja hauraita. Päällystykseen sopivia lipidejä ovat vahat, neutraalit lipidit, rasvahapot ja hartsit.

Vahat ovat pitkäketjuisten karboksyylihapojen ja pitkäketjuisten alkoholien estereitä (Rhim ja Shellhammer 2005). Vahat ovat erittäin hydrofobisia, joten ne eivät liukene veteen, vaan liukenevat ainoastaan orgaanisiin liuottimiin. Vahat voidaan luokitella eläinperäisiin, kasvipohjaisiin ja mineraalivahoihin. Eläin- ja kasvipärisistä vahoista syötävissä päällysteissä käytetyimpiä ovat karnauba-, kandelilla- ja mehiläisvaha. Soazo ym. (2011) käyttivät mehiläisvaha heraproteiiniemulsiokalvossa parantamaan kalvon kosteuden kestävyyttä. Mineraalivaha, kuten parafiiniä, voidaan käyttää juuston kuorena, mutta sitä ei voida käyttää syötävänä päällysteenä (Fernández-Pan ja Maté Caballero 2011).

Neutraalit lipidit tai triasyyliglyserolit ovat rasvahappojen glyseroliestereitä (Rhim ja Shellhammer 2005). Pitkäketjuiset triasyyliglyserolit ovat liukenemattomia veteen, kun taas lyhyketjuiset liukenevat osittain veteen. Triasyyliglyserolit ovat polaarisempia kuin vahat ja tästä syystä ne pystyvät leviämään pinnalle muodostaen molekyylin paksuisen kerroksen.

Rasvahapot ovat polaarisia lipidejä, joita käytetään ensisijaisesti emulgointi- ja dispergointiaineina (Rhim ja Shellhammer 2005). Rasvahapot ovat peräisin suurimmaksi osaksi kasviöljyistä. Vesihöyryn läpäisevyys suurenee, mitä pitkäketjuisemmasta rasvahaposta on kyse. Steariini- ja palmitiinihaposta ei voida muodostaa yhtenäistä kalvorakennetta, mutta niistä voidaan tehdä komposiittikalvoja. Avena-Bustillos ym. (1994) osoittivat tutkimuksessaan, että natriumkaseinaatti-steariinihapoemulsiopäällyste kuorituilla porkkanoilla vähensi porkkanoiden pinnan kuivumista ja vaalenemista.

Hartsit, joita käytetään elintarvikkeiden päällystämiseksi, ovat sellakka, pihka ja kumaronihartsit (Hall 2012). Sellakkaa (E904) saa käyttää mm. sitrushedelmien ja omenoiden pintakäsittelyyn sekä makeisten pinnan kiillotukseen. Sellakka on *Laccifer*-lakkakirvan puhdistettua vahamaista eritettä ja se liukenee alkoholeihin ja emäksisiin liuoksiin. Sellakka on yhteensopiva useimpien vahojen kanssa, jolloin se vähentää kosteuden siirtymistä tuotteen ja ympäristön välillä ja parantaa päällystetyn tuotteen kiiltoa. Havupuiden pihkaa puolestaan käytetään sitrushedelmien päällystyksessä. Kumaronihartsit, joka on öljyn tai kivihiilitervan tuotannon sivutuote, on sallittu päällystämiseen vain kuorittavilla sitrushedelmillä.

2.1.4 Yhdistelmäpäällysteet ja emulsiot

Polysakkaridit ja proteiinit ovat hydrofiilisiä polymeerejä, joten ne ovat hyviä kalvonmuodostajia. Niillä on erinomainen suojaominaisuus hapen, aromin ja rasvan siirtymistä vastaan, mutta huono kosteuden kestävyys (Rojas-Graü ym. 2011). Proteiinien, polysakkaridien ja

lipidien yhdistäminen samaan päällysteeseen voi parantaa olennaisesti sen toimivuutta, sillä lipidit ovat hydrofobisina tiiviitä vesihöyrylle (Pérez-Gago ja Krochta 2005). Yhdistelmäpäällysteet voi luokitella kaksikerroksisiksi päällysteiksi tai emulsioiksi. Yleensä kaksikerrosyhdistelmäpäällysteissä lipidi on kerroksena polysakkaridi- tai proteiinikerroksen päällä. Emulsiopäällysteissä lipidi on dispergoituneena ja sitoutuneena proteiini- tai polysakkaridimatriisiin. Päällysteiden vesihöyryn läpäisevyyteen vaikuttaa lipidin polaarisuus ja tyydytetyisyysaste, joten korkean sulamispisteen rasvahapot, monoglyseridit, hydrogenoidut rasvat ja vahat ovat käyttökelpoisia barriereja.

Kerroksittain päällystettäessä saavutetaan paras mahdollinen este kosteuden siirtymiselle, mutta menetelmänä se on työläs (Pérez-Gago ja Krochta 2005). Kerroksittain valmistetut päällysteet voivat kuitenkin delaminoitua, ja ne ovat mekaaniselta kestävyydeltään huonompia kuin emulsiopäällysteet.

Emulsiopäällysteitä valmistettaessa tarvitaan vain yksi päällystys- ja kuivausvaihe (Pérez-Gago ja Krochta 2005). Lipidi on dispergoituneena joko polysakkaridi- tai proteiinimatriisiin, jolloin muodostuu vakaa emulsio. Proteiineilla on hyvä emulgoimiskyky, mutta polysakkaridit vaativat emulgointiaineiden lisäämisen, jotta emulsiosta tulee stabiili. Emulsiopäällysteiden kykyä estää kosteuden siirtymistä voidaan parantaa käyttämällä viskoelastisia lipidejä, lisäämällä lipidipitoisuutta, pienentämällä lipidin pisarakokoa ja parantamalla kuivausolosuhteita.

2.1.5 Nanomateriaalit

Nanoteknologian avulla pyritään kehittämään elintarviketeollisuuden käyttöön nanopartikkeleita parantamaan elintarviketurvallisuutta ja tehostamaan tuotantoa. Nanopartikkelit ovat kooltaan alle 100 nm, ja ne muodostavat misellejä, liposomeja tai nanoemulsioita (Galgano ym. 2015). Nanopartikkelit voivat olla liitettynä toiminnallisina ainesosina, kuten vitamiineina, antimikrobisina aineina ja antioksidanteina, kuljetusjärjestelmiin estämään esim. hapettumista (Weiss ym. 2006). Nanopartikkeleilla pyritään myös parantamaan syötävien päällysteiden ominaisuuksia. Salvia-Trujillo ym. (2015) tutkivat pilkottujen Fuji-omenoiden säilyvyyttä ja laatua, jotka olivat päällystettynä nanoemulsiolla, ja vertasivat tuloksia perinteiseen emulsiopäällysteeseen. Nanoemulsio oli valmistettu alginaatista ja sitronellaöljystä, joka oli korkeapainehomogenisaattorilla saatu nanopartikkeleiksi, joiden pisarakoon kes-

kiarvo oli 135 nm. Nanoemulsiolla päällystetyissä omenalohkoissa oli vähemmän bakteerikasvustoa kuin perinteisellä emulsiolla päällystetyissä. Perinteisen emulsion pisarakoko oli 494–1775 nm ollen korkeimmillaan suurimmassa lipidipitoisuudessa.

2.1.6 Syötävissä päällysteissä käytettävät lisäaineet

Kalvomateriaaliin lisätään usein lisäaineita muuttamaan päällysteen toiminnallisuutta, fysikaalisia ja ravitsemuksellisia ominaisuuksia. Yleisimmin käytetyt lisäaineet ovat pehmittimet, joita käytetään kalvon haurauden poistamiseksi (Fernández-Pan ja Maté Caballero 2011). Emulgointiaineita lisätään parantamaan kalvomateriaalin ja liuottimen välistä adheesiota ja emulsion pysyvyyttä. Päällysteissä voidaan käyttää myös antimikrobisia aineita, antioksidantteja, ravintoaineita, makukomponentteja ja värejä parantamaan elintarvikkeen turvallisuutta, ravintoarvoa ja laatua.

Useimmat polysakkaridi- ja proteiinipohjaiset kalvot ovat hauraita ja jäykkiä polymeerimolekyylien välisten laaja-alaisten vuorovaikutusten takia (Sothornvit ja Krochta 2005). Pehmittimiä, jotka ovat suhteellisen pieniä molekyylipainoltaan, lisätään hydrokolloidimatriisiin parantamaan joustavuutta ja kimmoisuutta. Pehmittimien lisäys vähentää ketjujen välisiä vuorovaikutuksia ja laskee lasisiirtymälämpötilaa, jolloin päällysteen joustavuus lisääntyy. Pehmittimet lisäävät päällysteen kosteuden, hapen, aromien ja öljyjen läpäisevyyttä, ja proteiinipohjaisissa päällysteissä yleisimmin käytetyt pehmittimet ovat glyseroli, propyleeniglykoli, sorbitoli, polyetyleeniglykoli, sakkaroosi ja ksylitoli (Krochta 2002). Polysakkaridipohjaisissa päällysteissä yleisimpiä pehmittimiä ovat glyseroli, sorbitoli, ksylitoli, manitoli, polyetyleeniglykoli, etyleeniglykoli ja propyleeniglykoli (Sothornvit ja Krochta 2005). Myös vettä ja lipidejä, kuten rasvahappoja ja niiden johdannaisia, lesitiiniä, öljyjä ja vahoja, voidaan käyttää pehmittiminä. Pehmittimen tehokkuuteen vaikuttavat sen koko, muoto, pysyvyys ja yhteensopivuus päällystematriisin kanssa. Jost ym. (2014) raportoivat glyserolin (92 Da) ja sorbitolin (182 Da) vaikutusta alginaattikalvojen mekaanisiin ominaisuuksiin, kestävyys rasvaa vastaan, hapen ja vesihöyrynläpäisevyyteen. Molempien pehmittimien lisäys paransi kalvon mekaanisia ominaisuuksia. Pehmittimellä tai sen pitoisuudella ei ollut vaikutusta kestävyys rasvaa vastaan, vaan rasvan kesto säilyi erinomaisena. Glyserolin lisääminen ja sen pitoisuuden kasvattaminen kalvoluoksessa lisäsi sekä hapen että vesihöyrynläpäisevyyttä, mutta sorbitolilla tai sen pitoisuudella ei ollut vaikutusta näihin ominaisuuksiin.

Emulgointiaineet ovat pinta-aktiivisia ja amfifilisiä aineita, jotka vähentävät pintajännitystä veden ja lipidin rajapinnasta (Krochta 2002). Emulgointiaineet ovat välttämättömiä valmistettaessa proteiineista tai polysakkarideista emulsiokalvoja, joissa on lipidejä mukana. Nämä pinta-aktiiviset aineet vaikuttavat myös päällysteen adheesioon, leviämiseen ja kostumiseen päällysteen pinnalla. Yleisesti käytettyjä emulgointiaineita ovat asetyloitu monoglyseridi, lesitiini, Tween (engl. sorbitan fatty acid esters), etyleeniglykolimonostearaatti ja glyserolimonostearaatti (Baldwin 2007).

Kuoritut ja pilkotut kasvikset pilaantuvat helposti, kun suojaava kuori on poistettu. Syötäviin päällysteisiin voidaan lisätä säilöntäaineita tai antimikrobisia aineita, kuten orgaanisia happoja, bakteriosiineja, eteerisiä öljyjä ja entsyymejä (Rojas-Graü ym. 2012). Orgaaniset hapot, kuten omena- ja sitruunahappo, tekevät kasviksen pinnan happamaksi, jolloin bakteerien kasvu estyy. Nisiiniä, joka on maitohappobakteerista saatavaa bakteriosiinia, on käytetty hydrokolloideista valmistetuissa syötävissä päällysteissä. Eteeriset öljyt ovat luonnosta peräisin olevia vaihtoehtoja kemiallisille säilöntäaineille, joilla voidaan estää bakteerien, hiivojen ja homeiden kasvua. Vaikuttavina aineina näissä öljyissä ovat fenoliset yhdisteet. Syötävissä kalvoissa käytettyjä eteerisiä öljyjä ovat esimerkiksi timjami-, oregano-, sitrionella- ja kaneliöljy. Gniewosz ym. (2013) tutkivat pullulaanista ja kuminan eteerisestä öljystä valmistetun päällysteen vaikutusta baby-porkkanoiden säilyvyyteen. Päällyste esti tai hidasti bakteerien ja hiivojen kasvua merkittävästi. Eteerisillä öljyillä on myös antioksidanttisia vaikutuksia (Amorati ym. 2013). Fenoliset yhdisteet reagoivat peroksidiradikaalien kanssa luovuttaen vedyn ja estäen reaktioketjun etenemisen. Leen ym. (2015) mukaan timjamin eteerinen öljy sisälsi tymolia ja karvakrolia, jotka ovat fenolisia yhdisteitä. Tutkimuksen mukaan niillä oli rasvojen hapettumista estävä vaikutus. Lisäksi eteerisissä öljyissä on niille ominainen maku ja aromi, joka voi vaikuttaa voimakkuudellaan hyväksyttävyyteen. Gutierrez ym. (2009) havaitsivat tutkimuksissaan, että oregano- ja timjami-öljyllä käsitelty pilkotut porkkanat hyväksyttiin hyvin. Näitä eteerisiä öljyjä sisältävällä liuoksella huuhdelluista lehtisalaateista ei kuitenkaan pidetty.

Syötäviin päällysteisiin lisätään ravinteita lisäämään elintarvikkeen ravitsemuksellista laatua, estämään ruskistumista ja hapettumista (Silva-Weiss ym. 2013). Lisättävien ravinteiden pitoisuutta on syytä tutkia, jotta ne toimivat halutulla tavalla ravitsemuksellisesti ja päällysteen toiminnallisuuden kannalta. Park ja Zhao (2004) tutkivat kitosaanipohjaista päällystettä, johon oli lisätty kalsiumia, sinkkiä ja E-vitamiinia korkeina pitoisuuksina. Tutkimuksessaan

he havaitsivat vesihöyrynläpäisevyyden esto-ominaisuuden lisääntyneen sinkki- ja E-vitamiinipitoisuuden kasvaessa. Kuitenkin vetolujuus väheni kalsium- ja E-vitamiinipitoisuuden lisääntyessä.

2.2 Syötävien päällysteiden valmistus, levitys ja ominaisuudet

Pääasiassa syötävien päällysteiden kehittämisen painopiste on säilyttää päällystetty elintarvike laadultaan hyvänä ja syötäväksi kelpaavana tarpeeksi pitkän ajan. Päällysteen tarkoitus voi olla toiminnallinen tai ulkonäöllinen (kosmeettinen). Valmistusmateriaalit tulee valita siten, että ne toimivat halutulla tavalla tehtävässään. Päällysteen tulee kestää varastointi erottumatta, pilaantumatta, fermentoitumatta ja muodostamatta sivumakuja. Jotta päällysteestä on hyötyä, niin sen tulee levittyä tasaisesti pinnalle, kuivaa nopeasti ja irrota helposti välineistä puhdistettaessa. Päällystetyn pinnan pitäisi pysyä halkeilematta, muuttamatta väriä ja hilseilemättä pois tuotteita käsiteltäessä kosteuden tiivistyessä vaihtelevissa säilytyslämpötiloissa. Tahmea päällyste tarttuu kiinni pakkaukseen ja voi vaikuttaa haitallisesti tuotteen aistittaviin ominaisuuksiin. Tarvittaessa päällysteen tehtävänä on myös sallia tai estää kaasujen (happi ja hiilidioksidi) läpäiseminen, haihtuvien yhdisteiden ja vesihöyryn kulkeutuminen.

2.2.1 Syötävien päällysteiden valmistus

Syötävät päällysteet muodostuvat mekanismeilla, joita ovat molekyylien sisäiset voimat, kuten kovalenttiset sidokset, ja/tai sähköstaattiset, hydrofobiset ja ioniset vuorovaikutukset (Han ja Gennadios 2005). Jotta päällysteet ovat syötäviä, niiden raaka-aineet ja valmistusprosessi tulee olla elintarvikkeelle sovelias. Prosessi tulee hallita pH-säätöineen, suolojen lisäyksineen, lämmityksineen, kuivatuksineen ja käyttämällä elintarvikekelpoisia liottimia ja muita valmistusaineita.

Päällysteen valmistuksessa täytyy ottaa huomioon päällysteen rakenne ja päällysteen ja kasviksen välinen affiniteetti (Olivas ja Barbosa-Cánovas 2005). Päällystyksen jälkeen päällysteessä vaikuttavat voimat ovat päällystemolekyylien välinen koheesio sekä päällysteen ja kasviksen välinen adheesio. Koheesioaste vaikuttaa päällysteen mekaanisiin ja tiiviysominaisuuksiin, jolloin korkea koheesio vähentää joustavuutta ja kaasujen esto-ominaisuuksia

sekä lisää huokoisuutta. Toisaalta adheesio-voimakkuus määräytyy kemiallisesta ja sähköstaattisesta affiniteetistä kasviksen pinnan ja päällysteen välillä. Päällyste pysyy paremmin kasviksen pinnalla adheesio-ollessa korkea. Lisäksi päällysteen vesiliukoisuus on otettava huomioon, sillä pilkottujen kasvien veden aktiivisuus on korkea. Päällysteen vesiliukoisuuden tulee olla pieni, jotta päällyste ei vety.

Guilbertin ym. (1996) mukaan kalvonmuodostus tapahtuu seuraavilla mekanismeilla: yksinkertainen koaservaatio, kompleksikoaservaatio ja geelin muodostuminen tai koaguloituminen. Yksinkertaisessa koaservaatiossa veteen dispergoitunut hydrokolloidi saostuu tai käy läpi faasimuutoksen liuottimen haihduttua tai tapahtuu saostuminen/silloittuminen pH:n säädön jälkeen tai lisättäessä vesiliukoista ei-elektrolyyttiä, johon hydrokolloidi on liukenematon. Kompleksikoaservaatiossa kaksi vastakkaista sähkövarausta olevaa hydrokolloidiliuosta sekoitetaan, jolloin saadaan aikaan niiden välinen vuorovaikutus ja saostuminen. Geelin muodostumisessa tai termisessä koagulaatiossa makromolekyylejä (esim. proteiinit) kuumentamalla muodostuu geeliä. Saostamalla tai jäähdyttämällä hydrokolloididispersiota, kuten gelatiini tai agar, muodostuu myös geeli.

Päällysteen valmistus pääpiirteittäin tapahtuu seuraavasti: ensiksi päällystemateriaali (proteiini, polysakkaridi) liuotetaan liuottimeen, kuten veteen, alkoholiin tai näiden seokseen, samalla sekoittaen ja toisinaan lämmittäen liuosta. Seuraavaksi on tarvittaessa pH:n säätö, jolloin lisätään joko happoa tai emästä. Sekoituksen aikana lisätään pehmittimet tai muut apuaineet. Emulsiota valmistettaessa lisätään lipidiä ja mahdollisesti emulgointiaineita. Lipidiä lisättäessä päällysteseosta lämmitetään lipidin sulamispisteen yläpuolelle ja sen jälkeen homogenoidaan. Kaikkien komponenttien tulee liueta tai dispergoitua liuottimeen, jotta päällysteessä ei tapahdu faasien erottumista kuivumisen aikana. Muodostuneet kuplat pyritään poistamaan, jotta valmiiseen päällysteeseen ei jää kuplia. Lopuksi päällysteliuos levitetään päällystettävä tuotteen pinnalle ja liuotin haihdutetaan pois. Kuivumista voidaan kontrolloida esimerkiksi lämmittämällä ja ilmavirtaa käyttämällä, jotta päällyste kuivuu tasaisesti tuotteen pinnalle.

Malin ym. (2002) mukaan tärkkelyksestä valmistettaessa kalvoja amyloosi mahdollisti kalvonmuodostuksen. Tärkkelyksestä valmistetut kalvot olivat hauraita, joten niiden valmistuksessa käytettiin pehmittimiä vähentämään haurautta, lisäämään joustavuutta ja venyvyyttä. Gontardin ym. (1993) mukaan pehmittimen tuli olla yhteensopiva kalvon valmistuksessa käytettävän polymeerin kanssa, koska se vähensi molekyylien välisiä vuorovaikutuksia ja lisäsi polymeeriketjujen liikkuvuutta. Hydrofiilisiä pehmittimiä, kuten glyseroli, sorbitoli ja polyetyleeniglykoli, käytettiin hydrofiilisten kalvojen valmistuksessa.

Villalobosin ym. (2005) mukaan kalvon rakenteeseen vaikutti emulsion alkuperäinen sekä kuivumisen aikana syntyvä rakenne. Rasvapisaroiden koalesenssin aste ja kermoittuminen tapahtuivat linjassa veden haihtumisen kanssa jatkuvasta faasista, johon puolestaan vaikuttivat vesifaasin viskositeetti ja rasvapartikkelien väliset vuorovaikutukset. Hydrokolloidin ja pinta-aktiivisen aineen suhteen kasvaminen sai aikaan viskositeetin nousun kalvonmuodostusliuoksessa ja lipidifaasin tilavuusosuuden pienenemisen kuivatussa kalvossa. Hydrokolloidin ja pinta-aktiivisen aineen suhteen kasvaessa rasvojen aggregaatio ja kermoittuminen kalvon kuivuessa vähentyivät, jolloin rakenneosat jakautuivat tasaisesti matriisiin.

2.2.2 Syötävien päällysteiden levitys

Syötäviä päällysteitä voidaan levittää tuotteiden päälle kastamalla, sumuttamalla, vaahdotamalla, rumpupäällystyksellä, leijupedin avulla, tippukastelulla (engl. dripping) ja sähköstaattisella päällystyksellä. Menetelmän valintaan vaikuttavat päällystettävän tuotteen ominaisuudet, päällystemateriaali, tavoiteltu vaikutus tuotteeseen ja hinta.

Sumutus on perinteinen tapa päällystää kokonaisia hedelmiä ja vihanneksia. Päällystettä sumutetaan kasvien päälle ja ne kuljetetaan pyörivien harjojen yli, jolloin päällyste levittyy tasaisesti joka puolelle (Hall 2012). Sumuttamalla voidaan päällystää myös yksi puoli kerrallaan. Tällä tavalla voidaan levittää pienen viskositeetin päällysteliuoksia, jolloin suutin ei tukkeudu. Sumuttamalla saadaan levittymään paksu tai ohut tasainen kerros päällystettävälle pinnalle.

Päällysteen lisäys kastamalla sopii tuotteille, jotka ovat muodoltaan epäsäännöllisiä ja pinnaltaan karkeita (Andrade ym. 2012). Päällystettävä tuote upotetaan kokonaan päällysteliuosta sisältävään altaaseen ja nostetaan ylös, jolloin ylimääräinen päällysteliuos valuu pois. Menetelmän huonoina puolina ovat päällystysliuoksen laimeneminen, jos tuotteet ovat kosteita, ja roskien kerääntyminen altaan pohjalle. Päällysteen paksuuteen tuotteen pinnalla vaikuttavat päällysteliuoksen viskositeetti ja tiheys ja päällystettävän tuotteen pintajännitys (Zhao 2012).

Leijupetipäällystystä on alun perin käytetty lääketeollisuudessa, mutta nykyään sitä käytetään mm. vitamiinien, säilöntäaineiden, lisäaineiden ja mausteiden lisäämiseen tuotteen pinnalle leipomoissa ja lihateollisuudessa happamuuden säädössä (Dewettinck ja Huyghebaert 1999). Päällystysmateriaali ruiskutetaan liuoksena tai suspensionä leijuvaan partikkelikerroksen läpi. Päällystettävät tuotteet tulee olla kooltaan ja tiheydeltään suhteellisen pieniä.

Rumpupäällystystä käytetään yleensä makeisten ja pähkinöiden päällystykseen, jolloin tuotteen pinta kiillottuu rummussa pyöriessään (Zhao 2012). Päällystettävät tuotteet ovat rei'itetyn pyörivän rummun sisällä, johon päällystysmateriaali suihkutetaan. Tuotteen pyöriessä se peittyy tasaisesti päällystysmateriaalilla.

Vaahtopäällystystä käytetään emulsiopäällysteitä lisättäessä, jolloin vaahdotusainetta lisätään päällysteeseen tai vaahto muodostuu paineilman avulla (Zhao 2012). Vaahtoa sekoitetaan, jotta se levittyy esim. harjojen avulla telojen päällä liikkuvien tuotteiden pinnalle.

Tippukastelulla päällystämistä käytetään tomaateilla, kurkuilla, muutamilla kivellisillä- ja sitrushedelmillä vahoilla ja öljyillä päällystettäessä (Hall 2012). Tässä menetelmässä pisaroiden koko on suuri, joten tarvittaessa niiden kokoa voidaan pienentää pyörivän reikälevyn avulla. Päällyste voidaan lisätä joko suoraan tuotteiden päälle tai harjoille, joista se levittyy tuotteelle niiden pyöriessä harjojen yli.

Sähköstaattisessa päällystyksessä, jota on alkujaan käytetty maalaamisessa, käytetään varautuneita hiukkasia (Zhao 2012). Aluksi jauhemaiset hiukkaset tai liuos sumutetaan sähköä johtavaa pintaa kohti ja sen jälkeen ne kiihdytetään voimakkaalla sähköstaattisella varauksella päällystettävää pintaan. Kuitenkin monet elintarvikkeet sisältävät puskuroivia rakennosia, kuten proteiineja, jotka vähentävät liuoksen varausta. Sähköstaattista päällystystä on käytetty konditoria- ja suklaatuotteilla. Khan ym. (2014) tutkivat sähköstaattisen päällystykseen soveltuvuutta emulsio- ja suklaapohjaisella päällysteellä omenan lohkoihin ja pastilleihin. Emulsiopäällyste (vesi-öljyssä-emulsio) imeytyi tuotteisiin, mutta suklaapohjainen päällyste, jossa oli 70 % suklaata, jäi tuotteen pinnalle.

2.2.3 Syötävien päällysteiden ominaisuuksia

Syötävät päällysteet voivat muuttaa kasvista ympäröivää kaasukoostumusta, sillä päällyste eristää sen ympäristöstä. Päällysteen läpäisyominaisuudet ja kasvoksen soluhengitys vaikuttavat sen sisäpuolella olevaan kaasukoostumukseen. Syötävä päällyste voi toimia suojaavana kerroksena vähentäen soluhengitystä ja haihtumista. Päällyste estää kaasujen liikkumista ja näin ollen muodostaa muunnetun kaasukoostumuksen tuotteen sisään. Päällyste voi myös säädellä kaasujen vaihtoa tuotteen ja ympäristön välillä. Korkea hiilidioksidipitoisuus ja matala hapen pitoisuus (alle 1–3 %) aiheuttavat kasviksessa anaerobisen käymisen tuloksena etanolin muodostumista ja alkoholin aromia (Rojas-Grau ym. 2011). Päällyste säätelee myös kosteuden, aromien ja makukomponenttien siirtymiseen kasviksesta ympäristöön (Olivas ja

Barbosa-Cánovas 2005). Päällysteiden läpäisevyyttä tutkitaan itsenäisten kalvojen avulla (Hagenmaier 2012). Useimmiten päällysteet eivät ole tarpeeksi tukevia, jotta ne voidaan irrottaa ehjänä päällystetyltä alustalta mittauksia varten.

Läpäisevyyteen vaikuttavat diffuusiokerroin eli molekyylien liikkuvuus päällysteen läpi ja liukoisuuskerroin, joka edustaa liikkuvan molekyylin affiniteettia päällysteessä (Roudaut ja Debeaufort 2010). Läpäisevyyttä päällysteen läpi voidaan määrittää Fickin diffuusion ensimmäisen lain ja Henryn liukoisuuslain yhdistelmällä (Baldwin 2007). Vesihöyryn läpäisevyyttä kuvataan usein vesihöyryn läpäisy nopeudella (engl. water vapour transfer rate, WVTR), joka suhteutetaan päällysteen paksuuteen ja päällysteen eri puolilla olevaan vesihöyryn paine-eroon (Roudaut ja Debeaufort 2010). Päällysteen läpäisevyyden ennustamiseksi on tiedettävä päällysteen sorptioisotermi ja kosteuden diffuusiokerroin.

Useimmat polysakkaridi- ja proteiinipohjaiset päällysteet ovat hydrofiilisiä, joten niiden vesihöyryn läpäisevyyden esto-ominaisuus on rajallinen etenkin niiden ollessa kosketuksissa kosteitten elintarvikkeiden kanssa. Krochtan (2002) mukaan proteiinista valmistetut päällysteet läpäisivät helposti polaarisia yhdisteitä, kuten vesihöyryä, mutta niillä oli hyvä estovaikutus poolittomille yhdisteille, kuten hapelle, aromeille ja rasvoille. Pehmittimien lisääminen päällysteeseen ja suhteellisen kosteuden kasvaminen lisäävät sekä polaaristen että poolittomien aineiden läpäisevyyttä. Proteiinipäällysteiden vesihöyryn läpäisevyys on kahdesta neljään kertaa suurempi verrattuna LDPE:n läpäisevyyteen. Lisäämällä proteiiniketjujen välisiä sidoksia lisääntyvät kalvojen lujuus ja jäykkyys, mutta niiden venyvyys ja liukoisuus vähenevät (Krochta 2002). Polysakkaridien lisääminen proteiinikalvoihin parantaa niiden lujuutta, venyvyyttä ja jäykkyyttä.

Lipidit ovat hydrofobisia päällystemateriaaleja ja ne ovat hyviä estämään kosteuden haihtumista tuotteesta. Useimmiten lipidejä käytetään polysakkaridi- ja proteiinipäällysteissä parantamaan kosteudenkestävyyttä. Varastointilämpötilassa kiinteinä esiintyvät lipidit ovat parempia vedenkestävyydeltä kuin nestemäiset lipidit, koska vesihöyryn liukenevuus on pienempi järjestäytyneessä molekyyli rakenteessa (Olivas ja Barbosa-Cánovas 2005). Etenkin pitkäketjuisia ja tyydyttyneitä rasvahappoja sisältävät päällysteet ovat hyviä vedenkestävyydeltään, koska niiden rakenne on tiivis, ja molekyylit liikkuvat vähän. Lipidistä valmistetut kalvot ovat yleensä sameita, jäykkiä ja niissä on vahamainen maku eivätkä ne tartu helposti leikattuun kosteaan kasvoksen pintaan.

Suhteellisen kosteuden lisääntyessä myös läpäisevyys lisääntyy. Olivasin ja Barbosa-Cánovasin (2005) mukaan yhdelläkään syötävällä päällysteellä ei ole matalampaa vesihöyryn läpäisevyyttä kuin muovikalvoilla. Tästä syystä tuoreita elintarvikkeita päällystettäessä syötävillä kalvoilla haasteena on veden liikkuvuus. Albertin ja Mittalin (2002) mukaan heikko vedenkestävyys oli erittäin tärkeä ominaisuus päällysteelle paistettaessa, koska päällyste ei saanut muuttaa paistetun tuotteen suutuntumaa.

2.3 Kasvisten päällystäminen syötävillä kalvoilla ja päällysteiden käyttösovelluksia

Prosessoiduille elintarvikkeille soveltuvia syötäviä päällysteitä on tutkittu ja niitä on myös kaupallisesti saatavilla. Päällysteitä on tutkittu ja kehitetty liha-, kala-, äyriäis- ja viljatuotteille, makeisille, kuivatuille hedelmille, pähkinöille, pilkotuille tuoreille hedelmille ja vihanneksille. Päällysteiden tarkoituksena on laadun ja säilyvyyden parantaminen.

2.3.1 Kasviksilla käytettyjä syötäviä päällysteitä

Kokonaisia ja pilkottuja kasviksia päällystetään, jotta ne säilyvät laadultaan hyvinä pitkän säilytysajan. Päällysteet voivat vähentää hengitystä ja estää kasvisten kuivumisen. Taulukossa 1 on esimerkkejä kasviksilla käytetyistä syötävistä päällysteistä. Velickova ym. (2013) osoittivat tutkimuksessaan, että mehiläisvahan lisääminen kitosaanista valmistettuun päällysteeseen vähensi soluhengitysnopeutta päällystetyissä mansikoissa. Hydrofobiset lipidipohjaiset päällysteet estävät vesihöyryn läpäisyn, joten ne vähentävät veden haihtumista kasviksesta. Vahoilla on päällystetty kokonaisia sitrushedelmiä vuosituhansien ajan. Kaupallisesti käytettyjä vahoja valmistetaan mehiläis- ja karnaubavahan pitkä ketjuisista rasvapoista (McHugh ja Avena-Bustillos 2012). Vahat estävät kosteuden haihtumista, suojaavat hedelmän pintaa vaurioilta ja lisäävät kiiltoa.

Proteiini- ja polysakkaridipäällysteet estävät hyvin hiilidioksidin ja hapen poistumista kasviksesta, joten päällysteet eristävät kasviksen ympäristöstä. Tämä saa aikaan kaasulosuhteet (pieni happitaso ja suuri hiilidioksiditaso), jotka vähentävät hengitysnopeutta, ja sadonkorjuun jälkeinen aineenvaihdunta hidastuu, joten tuoreiden kasvisten säilyvyys paranee. Toisaalta liian matala happitaso saa aikaan käymisen ja korkea hiilidioksiditaso aiheuttaa kasvikselle fysiologisia muutoksia. Bain ym. (2002) mukaan päällysteet, jotka olivat valmis-

tettu zeinistä, karnaubavahasta ja karnaubavahasta/polysakkaridista, saivat aikaan kokonaisille omenoille ihanteellisen kaasutason. Tällöin hiilidioksidia kerääntyi vähän ja omenat pysyivät laadukkaina.

Taulukko 1. Hedelmillä, marjoilla ja vihanneksilla käytettyjä syötäviä päällysteitä.

| Kasvis/tuote | Päällystemateriaali | Levitysmekanismi | Vaikutus | Lähde |
|------------------------------------|--|------------------|--|--------------------------|
| Mansikka | Kitosaani, mehiläisvaha, glyseroli | Kasto | Hengitysnopeuden ja painohäviön vähentyminen | Velickova ym. 2013 |
| Mansikka | Kitosaani | Kasto | Kiinteys, värin säilyminen | Petriccione ym. 2015 |
| Mansikka | Kitosaani, eteeriset öljyt | Sumutus | Säilyvyyden parantaminen | Vu ym. 2011 |
| Tumma viinirypäle | Maissitärkkelys, gelatiini, sorbitoli | Kasto | Säilyvyyden parantaminen | Fakhouri ym. 2015 |
| Omena, peruna, porkkana (pilkottu) | Hapan heraproteiini, sorbitoli | Kasto | Ruskettumisen esto | Shon ja Haque 2007 |
| Omena (pilkottu) | Na-alginaatti, sitruunaruohoöljy | Kasto | Säilyvyyden parantaminen | Salvia-Trujillo ym. 2015 |
| Omena (pilkottu) | Omenapyree, alginaatti, eteeriset öljyt, glyseroli | Kasto | Säilyvyyden parantaminen | Rojas-Graü ym. 2007 |
| Peruna (pilkottu) | Heraproteiini, pektiini, sorbitoli | Kasto | Rasvan imeytymisen esto uppopaistossa | Rossi Marquez ym. 2014 |
| Peruna (soseutettu) | Zeini, glyseroli tai HPMC ¹⁾ , polyetyleeniglykoli tai MC ²⁾ , polyetyleeniglykoli | Sumutus | Rasvan imeytymisen ja kosteuden haihtumisen esto | Mallikarjunan ym. 1997 |
| Baby-porkkana (kuorittu) | Ksantaanikumi, kalsiumlaktaatti, glukonaatti, E-vitamiini | Kasto | Ravinteiden lisäys | Mei ym. 2002 |
| Porkkana (pilkottu) | Jamssitärkkelys, kitosaani, glyseroli | Kasto | Säilyvyyden parantaminen | Durango ym. 2006 |
| Porkkana (kuorittu) | Na-kaseinaatti, steariinihappo | Sumutus | Vaaleneminen | Avena-Bustillos ym. 1994 |
| Auringonkukan siemen (paahdettu) | CMC ³⁾ , eteeriset öljyt, glyseroli | Rumpupäällystys | Lipidien hapettumisen esto | Riveros ym. 2016 |

¹⁾HPMC = hydroksipropyylimetyyliselluloosa, ²⁾MC = metyylliselluloosa, ³⁾CMC = karboksimeetyyliselluloosa

Kuorinta altistaa kasvikset erilaisille fysiologisille muutoksille, jotka huonontavat säilyvyyttä varastoinnin aikana (Li ja Barth 1998). Esimerkiksi suojaavan kuorikerroksen poistaminen porkkanasta aiheuttaa karoteenien hapettumista ja lisää soluhengitystä, jolloin proteiinit, hiilihydraatit ja lipidit alkavat hajota, jolloin kehittyy sivumakuja. Lisäksi kuoritut porkkanat menettävät väriä ja vaalenevat kuoritulta pinnaltaan, ja tätä voidaan mitata kolorimetrillä ja vaaleusindeksillä (engl. whiteness / whitish index) (Avena-Bustillos ym. 1994).

Värin vaaleneminen johtuu kuoritun pinnan kuivumisesta. Mei ym. (2002) osoittivat tutkimuksessaan, että ksantaanikumipäällyste kuorituilla baby-porkkanoilla vähensi niiden pinnan kuivumista ja vaalenemista. Päällyste ei vaikuttanut porkkanan aromiin, makuun, makeuteen, rapeuteen eikä β -karoteenipitoisuuteen, mutta päällystetyn porkkanan pinta oli liukas.

Pilkkominen saa aikaan entsyymaattisen ruskistumisen useilla kasviksilla. Shon ja Haque (2007) tutkivat raejuuston valmistuksen sivutuotteena olevan happaman heran käyttökelpoisuutta päällysteenä pilkotulle omenalle, porkkanalle, perunalle ja sipulille. Päällystetyt omenat, porkkanat ja perunat olivat selvästi vaaleampia kuin nämä päällystämättöminä. Puolestaan päällystetyt ja päällystämättömät sipulit eivät eronneet toisistaan väritään.

Kasvisten kiinteys vaikuttaa niiden rakenteen miellyttävyyteen, sillä raikas ja mehukas kasvis mielletään tuoreeksi. Petriccione ym. (2015) tutkivat kitosaanipäällysteen vaikutusta mansikan säilyvyyteen ja kiinteyteen. Päällystetyt mansikat olivat selvästi kiinteämpiä päällystämättömiin verrattuna. Kuten myös Mohammadin ym. (2016) tutkimuksessa kitosaanista ja eteerisestä öljystä valmistetulla päällysteellä käsitellyt kurkut menettivät kiinteyttä 16 % päällystämättömien kurkkujen menettäessä 30 % 15 vuorokauden varastoinnin aikana.

Kasvikset voivat pilaantua varastoinnin ja kuljetuksen aikana. Etenkin pilkottujen kasvisten säilyvyyttä voidaan parantaa päällystämällä niitä syötävillä päällysteillä. Päällystemateriaaleihin lisätään antimikrobisia aineita kuten happoja (sitruunahappo), bakteriosiineja (nisiini), entsyymejä (lysotsyymi, peroksidaasi), eteerisiä öljyjä ja kitosaania, jolla on antimikrobisia ominaisuuksia (Rojas-Graü ym. 2012). Durango ym. (2006) tutkivat tärkkelyksestä ja kitosaanista valmistetun päällysteen toimivuutta viipaloiduilla porkkanoilla. Kitosaania 1,5 % sisältävä päällyste olennaisesti rajoitti maitohappobakteerien, koliformisten ja psykrotrofisten bakteerien, hiivojen ja homeiden kasvua. Rojas-Graün ym. (2007) mukaan omenapyree-alginaattipäällyste, johon oli lisätty sitruunaruoho-, oreganoöljyä tai vanilliinia, esti *Listeria*-bakteerin, psykrotrofisten aerobisten bakteerien, hiivojen ja homeiden kasvua paloitetuilla omenoilla.

2.3.2 Kaupallisia päällystyssovelluksia

Syötäviä päällysteitä on kehitetty teollisesti valmistettuihin ruokiin, kuten lihalle, muroille, makeisille, kuivatuille hedelmille, pähkinöille, kokonaisille ja pilkotuille hedelmille ja kasviksille. Ekstruusiolla valmistettuja kollageenikalvoja on käytetty tuoreilla lihatuotteilla

(McHugh ja Avena-Bustillos 2012). Kollageenikalvot ovat läpinäkyviä tai hiukan sameita ja mauttomia. Kaupallinen kollageenikalvo Coffi™ on käytössä luuttomalla lihalla, joka paistetaan verkkoon käärittynä. Hedelmä- ja kasvispohjaista syötävää kalvoa, jossa on mausteita ja kaksikerrosproteiinikalvo, NewGem™ Foods Glaze Sheets, käytetään kinkun kiiltävänä kuorutteenä. Rodríguez-Calleja ym. (2012) tutkivat kaupallisen anticoat-DLP-päällysteen toimivuutta raa'an kanan rintafileen säilyvyyden parantamisessa. Tämä kaupallinen päällystemateriaali sisälsi maito- ja etikkahappoa, natriumasetaattia, pektiiniä ja vettä. Päällyste kesti pariloimisen aistittavia ominaisuuksia muuttamatta.

Sellakasta valmistetulla syötävällä päällysteellä on pinnoitettu suklaata, purukumia, nonparelleja, sokeroitua lakritsia ja pehmeäsisuksisia karamelleja (engl. jelly beans) (McHugh ja Avena-Bustillos 2012). Sellakkapäällyste on hajuton, mauton, hyvä estämään rasvan ja kosteuden siirtymistä sekä naarmuuntumista. Kaupallisia sellakkapäällysteitä ovat Crystalac® ja Certified®, jotka valmistaa Mantrose-Hauser Co., Inc. Tällä valmistajalla ovat myös kumipohjainen Certiseal® ja öljy- ja luonnonvahapohjainen CertiCoat®. Certisealia® on käytetty päällystämään pähkinöitä ja kuivattuja hedelmiä ja CertiCoatia® kiillottamaan purukumeja ja pehmeäsisuksisia karamelleja.

Hedelmille ja kasviksille on kehitetty useita kaupallisia päällystyssovelluksia. NatureSeal® on selluloosapohjainen syötävä päällyste, jossa on vitamiineja ja mineraaleja (McHugh ja Avena-Bustillos 2012). Tällä päällysteellä saadaan ylläpidettyä pilkottujen kasvien luonnollinen maku, rakenne ja väri jopa 21 päivän ajan. Pro-long™ ja TAL Pro-long™ on kehitetty kokonaisten hedelmien päällystykseen parantamaan säilyvyyttä. Nämä päällysteet on valmistettu rasvahappojen sakkaroosiestereistä, karboksimeetyyliselluloosan natriumsuoloista ja mono- ja diglyserideistä. Puolestaan Semperfresh™ on valmistettu sakkaroosiestereistä, joissa on lyhytketjuisten tyydyttymättömien rasvahappoestereiden suhteellinen osuus korkea, karboksimeetyyliselluloosan natriumsuoloista ja mono- ja diglyserideistä. Tämä päällystemateriaali on saatavana jauheena, joka sekoitetaan veteen. Päällyste sumutetaan tai hedelmät kastetaan siihen heti poimimisen jälkeen. Päällyste estää hapen sisäänpääsyn noin 90-prosenttisesti, mutta ei estä hiilidioksidin ulospääsyä. Päällystetyt hedelmät säilyvät kaksi kertaa kauemmin tuoreina kuin päällystämättömät.

2.3.3 Paistosovellukset ja paistamisen vaikutus syötäviin päällysteisiin

Syötävien kalvojen käyttäytymistä paistamisen aikana on tutkittu suurimmaksi osaksi öljyssä uppopaistetuilla elintarvikkeilla. Useassa tutkimuksessa näkökulmana oli rasvan imeytyminen ja sen määrä paistetuissa tuotteissa sekä kosteuden haihtuminen tuotteesta. Taulukossa 2 on esitetty päällysteitä, joita on kokeiltu paistettavien tuotteiden päällystämiseen. Taulukossa 2 on mukana myös kalvosovelluksia. Mallikarjunan ym. (1997) tutkivat metyyliiselluloosan (MC) ja hydroksipropyylimetyyliiselluloosan (HPMC) käyttäytymistä uppopaistettaessa perunapalloja. Päällysteet muodostivat suojaavan kerroksen tuotteen pinnalle yli 60 °C:ssa muodostaen geelin. Albert ja Mittal (2002) testasivat vertailemalla useita erilaisia syötäviä päällysteitä ja niiden sopivuutta keksin uppopaistoon. Tutkimuksessa ilmeni, että gelatiinista valmistetut päällysteet eivät kestäneet paistamista, sillä ne sulivat. Johanneksenleipäpuujauheesta valmistetuissa päällysteissä huomattiin olevan reikiä paistamisen jälkeen ja päällyste ei ollut tarpeeksi paksu. Metyyliiselluloosapäällysteet halkesivat paistossa, mutta keksit pitivät muotonsa ja niissä oli hyvä paistoväri sekä kiiltävä pinta. Myös pektiinipäällysteisiin tuli halkeamia paiston jälkeen. Mikrokiteinen selluloosapäällyste irtosi muutamista kohdista keksin pinnalta, mutta pinnaltaan keksit olivat kauniin värisiä. Puolestaan natriumkaseinaattipäällyste mureni keksien päältä pois paiston aikana. Vehnägluteenipäällysteisiin tuli suuria kuplia paiston aikana, joten nämä päällysteet eivät sopineet uppopaistotuotteisiin. Myös soijaproteiini-isolaattipäällysteissä oli pieniä kuplia. Heraproteiini-isolaattipäällysteisiin tuli reikiä, ja päällysteet olivat jäykkiä ja rypistyivät keksin laidoilla. Päällystetyt keksit olivat tummia paistamisen jälkeen. Gellaanikumista valmistetut päällysteet vaurioituivat paistettaessa.

Albert ja Mittal (2002) vertailivat myös eri materiaalien yhdistelmiä päällysteinä. Heraproteiini-isolaatti/MC-päällyste ja soijaproteiini-isolaatti/MC-päällyste kestivät paistamisen 150-celsiusasteisessa öljyssä halkeamatta, ja keksit olivat pinnaltaan kiiltäviä. Soijaproteiini- ja heraproteiini-isolaatista valmistetussa päällysteessä ja päällysteessä, johon oli lisätty näiden lisäksi metyyliiselluloosaa, oli havaittavissa pieniä halkeamia paistossa, mutta niillä oli hiukan tummempi ja kiiltävämpi pinta kuin päällystämättömissä kekseissä. Heraproteiini-isolaatti/pektiinipäällysteellä käsiteltyt keksit olivat pallomaisia, mutta käsittelemättömät keksit olivat litteitä. Tässä päällysteessä ei ollut halkeamia, ja päällystetyt keksit olivat hieman tummempi kuin päällystämättömät. Puolestaan heraproteiini-isolaatti/Na-kaseinaattipäällyste kesti suhteellisen vakaana paistamisen, vaikka päällysteessä oli muutamia kuplia.

Taulukko 2. Paistetuilla elintarvikkeilla käytettyjä päällysteitä.

| Päällyste | Sovel- tuvuus | Tuote | Huomautuksia | Lähde |
|---|------------------|--|---|------------------------|
| Zeiini, glyseroli | + | Perunasosepullat | Uppopaisto 175 °C 4 min, pidätti kosteutta vähemmän kuin seuraavat kaksi | Mallikarjunan ym. 1997 |
| HPMC, polyetyleeniglykoli | + | Perunasosepullat | Uppopaisto 175 °C 4 min | Mallikarjunan ym. 1997 |
| MC, polyetyleeniglykoli | + | Perunasosepullat | Uppopaisto 175 °C 4 min | Mallikarjunan ym. 1997 |
| MC 1 %, 2 %, 3 % | ? | Ranskalaiset perunat | Estää kosteuden haihtumista, päällystämättömät parempia | Hua ym. 2015 |
| 1 % auringonkukan siemenpektiini/CaCl ₂ | ? | Ranskalaiset perunat | Uppopaisto 170 °C 3 min, päällystämättömät parempia kuin päällystetyt, pektiini hyväksyttävämpi kuin MC | Hua ym. 2015 |
| Heraproteiini, pektiini, transglutamiinaasi, sorbitoli | + | Ranskalaiset perunat | 190 °C 2 min, öljyn imeytyminen vähentyi | Rossi Marquez ym. 2014 |
| 1 % MC, 0,5 % sorbitoli | + | Perunatikut | Uppopaisto 170–190 °C | Garcia ym. 2002 |
| HPMC, sorbitoli | + | Perunatikut, rinkelit | Uppopaisto 150–190 °C | Garcia ym. 2002 |
| 1 % MC, 0,75 % sorbitoli | + | Rinkelit | Uppopaisto 150–170 °C, päällysteet eivät muuttaneet rakenteellisia ominaisuuksia, MC vähensi paremmin öljyn imeytymistä kuin HPMC | Garcia ym. 2002 |
| 1 % MC, 0,5 % sorbitoli | + | Ranskalaiset perunat | Uppopaisto 180 °C 4 min, kosteus säilyi ja öljyn imeytyminen estyi | Garcia ym. 2004 |
| 1 % MC, 0,75 % sorbitoli | + | Donitsit | Uppopaisto 150 °C 3 min, kosteus säilyi ja öljyn imeytyminen estyi | Garcia ym. 2004 |
| Soijaproteiini- ja heraproteiini-iso-laatti (SPI/WPI), gellanikumi, glyseroli | ? | Donitsi, ranskalaiset perunat | Päällyste erittäin viskoosi, ei estänyt rasvan imeytymistä, mutta esti kosteuden haihtumista | Rossi Marquez ym. 2014 |
| 10 % SPI, ei pehmitintä | + | Donitsit, perunavii-paleet, ranskalaiset perunat | Kasto, uppopaisto 160 °C 15 min | Rayner ym. 2000 |
| 10 % SPI, 3 % glyseroli | + | Donitsit, perunavii-paleet, ranskalaiset perunat | Kasto, uppopaisto 160 °C 15 min, pehmitin vähensi öljyn imeytymistä | Rayner ym. 2000 |
| 10 % SPI, 0,05 % gellanikumi (=pehmitin) | + | Donitsit, perunavii-paleet, ranskalaiset perunat | Kasto, uppopaisto 160 °C 15 min, pehmitin vähensi öljyn imeytymistä, aistivaraissa arvioinnissa ranskalaiset paras | Rayner ym. 2000 |
| Heraproteiini, pektiini, transglutamiinaasi, sorbitoli | + | Rinkelit | 190 °C 4 min, öljyn imeytyminen vähentyi | Rossi Marquez ym. 2014 |
| Heraproteiini, pektiini, transglutamiinaasi, sorbitoli | + | Taralli | Esikeitto 5 min→päällystys 10 s kasto→yön yli kuivaus→paisto uunissa 180 °C 20 min | Rossi Marquez ym. 2014 |
| 2 % κ-karrageeni, 0,1 % KCl, polyetyleeniglykoli, glyseroli | ± | Mustafakemalpasa | 2 min kuivaus 200 °C+keitto 70 % siirapissa 15–20 min, ei parantanut säilyvyyttä päällystämättömiin verrattuna | Guldas ym. 2010 |
| 1 % kitosaani, glyseroli | ± | Mustafakemalpasa | kts edellinen | Guldas ym. 2010 |
| 10 % heraproteiinikonsentraatti | + | Mustafakemalpasa | Käsittely sama kuin edellä, säilyvyys parani | Guldas ym. 2010 |
| Zeiini, glyseroli | + | Mustafakemalpasa | kts. edellinen | Guldas ym. 2010 |

| Päällyste | Sovel- tuvuus | Tuote | Huomautuksia | Lähde |
|--|------------------|---------------------|---|-----------------------|
| Gelatiini, glyseroli | – | Keksi | Suli uppopaistossa | Albert ja Mittal 2002 |
| Johanneksenleipäpuu, ksantaani | – | Keksi | Uppopaisto 141 °C, ei tarpeeksi paksu, reikiä päällysteessä | Albert ja Mittal 2002 |
| MC, glyseroli | +? | Keksi | Uppopaisto 141 °C, halkeamia, mutta hyvä paistoväri ja kiitävä pinta | Albert ja Mittal 2002 |
| Pektiini (LM-12-CG), CaCl ₂ | – | Keksi | Uppopaisto 139 °C, halkeamia | Albert ja Mittal 2002 |
| Pektiini (BB-pektiini) | – | Keksi | Päällyste erittäin ohut, uppopaisto 138 °C, ulkonäkö lähes samanlainen kuin päällystämättömillä | Albert ja Mittal 2002 |
| Mikrokiteinen MC, polyetyleenigly- koli | – | Keksi | Uppopaisto 135 °C, karamelliväri, päällyste irtosi muutamista kohdista | Albert ja Mittal 2002 |
| Na-kaseinaatti, glyseroli | – | Keksi | Uppopaisto 142 °C, aluksi kuplia, jotka puhkesivat myöhemmin, päällyste mureni pois | Albert ja Mittal 2002 |
| Vehnägluteeni, gellanikumi | – | Keksi | Uppopaisto 150 °C, suuria kuplia, keksit näyttivät pieniltä ilmapalloilta | Albert ja Mittal 2002 |
| WPI, glyseroli | – | Keksi | Uppopaisto 139 °C, reikiä, jäykkä, rypistyi laidoilta, tumma pinta paiston jälkeen | Albert ja Mittal 2002 |
| Gellaanikumi, CaCl ₂ ·2H ₂ O | – | Keksi | Uppopaisto 138 °C, vaurioitui | Albert ja Mittal 2002 |
| WPI/MC, glyseroli (2-kerros) | + | Keksi | Uppopaisto 140 °C, ei laajentunut paistossa, tummempia, pienempiä, ei isoja halkeamia | Albert ja Mittal 2002 |
| SPI/MC, glyseroli (2-kerros) | – | Keksi | Päällyste erittäin paksu, uppopaisto 140 °C, muutamia halkeamia ja kuplia | Albert ja Mittal 2002 |
| SPI/WPI, glyseroli (2-kerros) | +? | Keksi | Päällyste erittäin paksu, uppopaisto 140 °C, ei halkeamia, muutamia kuplia | Albert ja Mittal 2002 |
| WPI/MC-seos, glyseroli | + | Keksi | Uppopaisto 149 °C, ei halkeamia, kiitävämpiä kuin päällystämättömät | Albert ja Mittal 2002 |
| SPI/MC-seos, glyseroli | + | Keksi | Uppopaisto 150 °C, hyvä väri, kiitävä pinta, ei vaurioita | Albert ja Mittal 2002 |
| SPI/WPI-seos, glyseroli | + | Keksi | Uppopaisto 150 °C, lähes halkeamattomia, hiukan tummempia ja kiiltävämpiä kuin päällystämättömät | Albert ja Mittal 2002 |
| SPI/WPI/MC-seos, glyseroli | +? | Keksi | Tarttuivat alustaan, uppopaisto 139 °C, pieniä halkeamia, hiukan kiiltäviä ja tummempia | Albert ja Mittal 2002 |
| WPI/BB-pektiini-seos, glyseroli | ? | Keksi | Uppopaisto 138 °C, pallomaisia keksejä, lähes ilman halkeamia, hiukan tummempia kuin päällystämättömät | Albert ja Mittal 2002 |
| WPI/Na-kaseinaatti-seos, glyseroli | + | Keksi | Liuos aika paksua, uppopaisto 143 °C, päällyste suhteellisen vakaa paistossa, muutamia kuplia | Albert ja Mittal 2002 |
| iota-karrageeni, glyseroli, mehiläis- vaha, kasviöljy | + | Kalvo | 100–200 °C 1-8 min, ei muutosta lipidipisaroiden koossa, korkea viskositeetti→nopea gelaatio, tiukka karrageeniverkko (kantaja) | Karbowiak ym. 2007 |
| Heraproteiini-isolaatti, glyseroli | – | Kalvo | yli 140 °C:ssa hajoaa | Sothornvit ym. 2003 |
| SPC (soijaproteiinkonsentraatti) | – | Kalvo lasille | Ei pysynyt kasassa tai pinnalla | Rayner ym. 2000 |
| 10 % SPI, ei pehmitintä | + | Kalvo lasille | Kasto→kuivaus < 200 °C, läpinäkyvä kalvo | Rayner ym. 2000 |
| Basilikasiemenkumi, glyseroli, tymoli | + | Kuoritut katkaravut | Kasto 10 s→yön yli kuivuminen (päällysteestä tuli näkymätön), uppopaisto 161 °C, päällystetyt rakenteeltaan parempia, mehukkaampia, korkeat pisteet hyväksyttävyydessä, kosteuden haihtuminen ja öljyn imeytyminen väheni | Khazaei ym. 2016 |
| 2 % alginaatti, 3 % CaCl ₂ , NaCl | + | Kanan rintafilee | Mikroaaltouunikuennus 900 W 60 s, alginaatti tehokas susseptori | Albert ym. 2012 |

Guldas ym. (2010) tutkivat κ -karrageenista, kitosaanista, zeiinistä tai herakonsentraatista valmistettujen syötävien päällysteiden vaikutusta juustopohjaisen makean jälkiruoan (mustafakemalpasa) säilyvyyteen. Jälkiruokaleivonnaiset paistettiin ja kastettiin päällysteisiin, jonka jälkeen leivonnaiset kuivattiin 200 °C 2 minuutin ajan. Tämän jälkeen ne keitettiin 70-prosenttisessa siirapissa 15–20 min ennen syömistä. Aistinvaraisessa arvioinnissa ei ollut eroja päällystämättömien ja päällystettyjen leivosten maussa ja rakenteessa. Kitosaanilla ja κ -karrageenilla päällystetyt sekä päällystämättömät leivokset pilaantuivat kolmen päivän säilytyksen jälkeen. Heraproteiinikonsentraatilla ja zeiinillä päällystetyt leivonnaiset säilyivät 10 päivää menettämättä merkittävästi aistittavia ominaisuuksia.

Karbowiak ym. (2007) tutkivat karrageeniemulsiokalvon käyttäytymistä kuumennettaessa uunissa (100, 150, 200 °C) ja paistoaikoina olivat 1, 2, 4 ja 8 minuuttia simuloiden leivontaolosuhteita. Karrageenikalvon vesihöyrynläpäisevyys oli huono, joten siihen oli lisätty rasvoja. Emulsiokalvo muodostui tiiviistä karrageenin muodostamasta verkostosta, jonka sisään rasvapisarat olivat uponneet. Kuumennus ja liuottimen haihtuminen aiheutti vähäisiä muutoksia emulsion rakenteeseen. Korkea lämpötila ei muuttanut emulsiokalvossa olevien rasvapisaroiden kokoa eikä koon jakaumaa, ja lämpötilalla ei ollut vaikutusta kalvon vesihöyrynläpäisevyyteen.

Lipidipohjaiset päällysteet sulavat ja valuvat paistamislämpötiloissa, jolloin ne menettävät eheyden, ja esto-ominaisuudet heikkenevät (Bourlieu ym. 2007). Lisäksi komposiittipäällysteiden sisältämät kuumuudelle herkat yhdisteet, kuten kuumentamisessa denaturoituvat proteiinit, voivat muuntua paistamisen myötä aiheuttaen päällysteen ominaisuuksien voimakkaita muutoksia.

2.3.4 Paistamisen vaikutus kasviksiin

Paistaminen on lämpökäsittely, jossa kasviksen säilyvyys ja nautittavuus paranevat käsittelemättömään verrattuna. Elintarvikkeen paistaminen helpottaa syötävyyttä ja parantaa tuotteen pilkkoutumista ruuansulatuksessa ja myös lyhytaikainen säilyvyys prosessoinnin jälkeen paranee. Paistaminen tapahtuu kuumen ilman välityksellä uunissa, jonka lämpötila on 110–300 °C (Berk 2013; Fellows 2009).

Kuumennettaessa lämpö siirtyy tuotteeseen ja samanaikaisesti tuotteesta haihtuu kosteutta ympäröivään ilmaan (Fellows 2009). Paistettaessa uunissa elintarviketta kuumennetaan samalla kertaa kuljettumalla (konvektio), johtumalla (konduktio) ja säteilyn avulla (Berk

2013). Kuuma ilma ja sen kierto kuumentaa elintarviketta konvektion avulla. Konduktiota tapahtuu tuotteen ja kosketuksissa olevien kuumien pintojen, kuten vuoan, välillä. Puolestaan uunin seinät ja vastukset kuumentavat säteilemällä elintarviketta.

Uunissa tuotteen lämpötila nousee kostealämpötilaan (Fellows 2009). Kuumentaminen aiheuttaa kosteuden haihtumista tuotteen pinnalta ja ajavana voimana kosteuden poistumiseen on höyrynpainegradientti kostean tuotteen ja kuivan ilman välillä. Tämä puolestaan saa aikaan kosteuden siirtymisen tuotteen sisäosista pinnalle. Kun kosteutta haihtuu tuotteen pinnalta enemmän kuin sisäosista tulee pintaan, seuraa pinnan kuivuminen ja sen lämpötilan nousu kuumen ilman lämpötilaan, jolloin tuotteen pinta kuorettuu. Tällöin sisäosiin jää kosteutta, joten tuote pysyy sisältä mehukkaana. Kasvisten kohdalla tuotteen sisälämpötila ei ylitä 100 °C:tta.

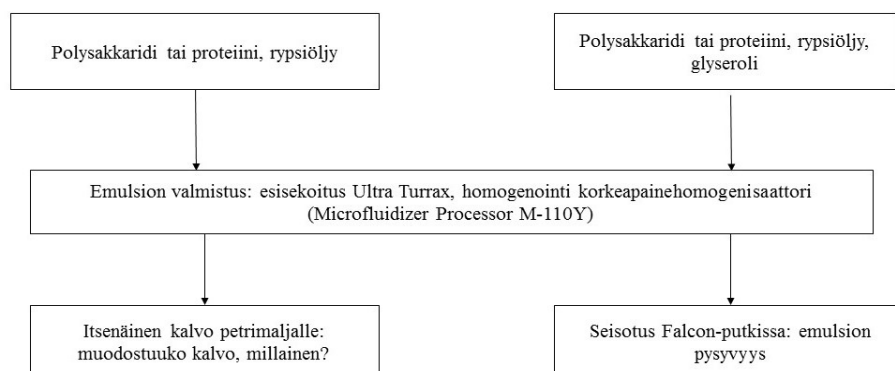
Kuumentaminen aiheuttaa elintarvikkeessa olevan tärkkelyksen liisteröitymistä, proteiinien denaturoitumista ja ei-entsymaattista ruskistumista, joka puolestaan vaikuttaa aistittaviin ominaisuuksiin kuten väriin, makuun ja rakenteeseen. Tärkkelyksen liisteröityminen alkaa elintarvikkeen saavuttaessa 65 °C:n lämpötilan uunissa (Fellows 2009).

3 KOKEELLINEN TUTKIMUS

3.1 Materiaalit ja menetelmät

3.1.1 Esikokeet

Esikokeiden tarkoituksena oli valita syötävien päällysteiden valmistukseen sopivia kalvoja. Esikokeisiin valittiin tieteellisten julkaisujen perusteella päällystemateriaaleja ja menetelmiä. Myös materiaalien saatavuus vaikutti valintaan. Esikokeissa testattiin kymmenen päällystemateriaalia, joita olivat soijaproteiini- ja heraproteiini-isolaatti, herneproteiini, arabikumi, kitosaani, metyyliiselluloosa Wellence SmartFry 60 ja hydroksipropyylimetyyliiselluloosat K4M, E19 ja K99. Myös perunaproteiinia testattiin emulsion valmistuksessa. Esikokeissa tehtiin valituista materiaaleista emulsiot, jotka valettiin petrimaljalle ja kuivattiin kalvoiksi koeasetelman mukaisesti (kuva 1). Emulsioiden faasierottumista seurattiin Falconputkien avulla 1–3 viikkoa. Emulsiokalvojen valmistuksessa käytetyt materiaalit ja niiden valmistajat ovat taulukossa 3.



Kuva 1. Esikokeiden koeasetelma.

Taulukko 3. Emulsiokalvojen valmistuksessa käytetyt materiaalit ja niiden valmistajat.

| Materiaali | Valmistaja | Muuta |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Soijaproteiini-isolaatti | Shandong Yuxin Biotech Co Ltd, Kiina | Haarla Oy (lahjoitus) |
| Heraproteiini-isolaatti 90S | Armor proteins, Ranska | |
| Herneproteiini Nutralys F85F | Roquette, Ranska | |
| Kitosaani | Seltag, Ranska | Brenntag Nordic Oy, Suomi (lahjoitus) |
| HPMC ¹⁾ K4M | Dow Wolff Cellulosics GmbH, Saksa | Brenntag Nordic Oy, Suomi (lahjoitus) |
| HPMC E19 | Dow Wolff Cellulosics GmbH, Saksa | Brenntag Nordic Oy, Suomi (lahjoitus) |
| HPMC K99 | Dow Wolff Cellulosics GmbH, Saksa | Brenntag Nordic Oy, Suomi (lahjoitus) |
| MC ²⁾ Wellence SmartFry 60 | Dow Wolff Cellulosics GmbH, Saksa | Brenntag Nordic Oy, Suomi (lahjoitus) |
| Arabikumi | Valmar, Ranska | |
| Perunaproteiini | Finnamyl Oy, Suomi | 59 % proteiinia (lahjoitus) |
| Rypsiöljy | Bunge Finland Oy, Suomi | |
| Glyseroli | Dow, Saksa | elintarvikekelpoinen |

¹⁾ HPMC = hydroksipropyylimetyyliselluloosa, ²⁾ MC = metyyliselluloosa

Emulsiokalvojen valmistus

Jokaisesta päällystemateriaaleista valmistettiin kaksi emulsiota (200 g/emulsio), joista toiseen tuli pehmittimenä 30 % glyserolia proteiinin tai polysakkaridin määrästä ja toiseen

emulsioon ei lainkaan glyserolia. Emulsiot valmistettiin homogenoimalla sekä Ultra Turraxilla (T 25 Ika-Labortechnik, Saksa) että korkeapainehomogenisaattorilla (Microfluidizer Processor M-110Y, Yhdysvallat).

Soijaproteiini-isolaatista valmistettiin emulsio Wun ym. (2000) ja Raynerin ym. (2000) menetelmiä mukaillen. Aluksi punnittiin vaa'alla (Precisa 400M, Pag Oerlikon Ab, Sveitsi) 5 % proteiinia (märkäpaino) liuoksen painosta (10 g). Soijaproteiini-isolaatti lisättiin vähitellen sekoittaen magneettisekoittajalla (500 rpm) punnittuun huoneenlämpöiseen tislattuun veteen. Sekoitusta jatkettiin kunnes proteiini liukeni. Tämän jälkeen liuoksen pH tarkistettiin pH-mittarilla (pHM220 MeterLab, Ranska): pH oli 8,2. Glyserolia lisättiin 30 % proteiinin määrästä (3 g) toiseen liuoksista ja sekoitettiin 10 minuuttia (500 rpm). Proteiini denaturoitiin vesihauteessa 80 °C:ssa sekoittaen (250 rpm) ja liuosta pidettiin tässä lämpötilassa 20 minuuttia. Liuos jäähdytettiin kylmävesihauteessa sekoittaen. Tämän jälkeen lisättiin 50 % proteiinin määrästä rypsiöljyä (5 g), ja homogenoitiin Ultra Turraxilla (13 000 rpm) 5 minuuttia. Emulsio vaahtosi voimakkaasti ja sen vuoksi seuraavilla kerroilla emulsiot homogenoitiin Ultra Turraxilla (11 000 rpm) 5 minuuttia. Homogeenointia jatkettiin korkeapainehomogenisaattorilla paineen ollessa 1000 bar, ja emulsiot kierrätettiin kolme kertaa laitteen läpi. Emulsioita kaadettiin kolmelle halkaisijaltaan 10 cm:n Teflon-petrimaljalle (20 ml/malja), jotta saatiin selville emulsion kyky muodostaa kalvoja. Emulsiokalvoja kuivattiin lämpökaapissa (Termaks TS 8260, Norja) 40 °C:ssa tai huoneenlämmössä yön yli. Falcon-putkiin (3 kpl) mitattiin 10 ml emulsiota ja säilytettiin 5 °C:ssa emulsion pysyvyyden tarkastelua varten.

Heraproteiini-isolaattiemulsion valmistus aloitettiin punnitsemalla 8 % heraproteiini-isolaattia (märkäpaino) liuoksen painosta ja se lisättiin hitaasti punnittuun tislattuun veteen sekoittaen (300 rpm). Proteiinin liuettua liuoksen pH tarkistettiin: pH oli 6,5–6,6. Emulsion valmistuksessa käytettiin Galusen ja Kadzińskan (2016) menetelmää mukaillen. Toiseen emulsioista lisättiin 50 % glyserolia proteiinin painosta ja sekoitettiin (300 rpm) 15 minuutin ajan. Proteiini denaturoitiin vesihauteessa 80 °C:ssa sekoittaen (250 rpm) ja pidettiin tässä lämpötilassa 30 minuuttia. Tämän jälkeen liuos jäähdytettiin huoneenlämpöön kylmävesihauteessa sekoittaen (300 rpm). Rypsiöljyä lisättiin 50 % proteiinin määrästä ja homogenoitiin Ultra Turraxilla (11 000 rpm) 3 minuuttia ja korkeapainehomogenisaattorilla kierrätettiin kolme kertaa läpi (1000 bar). Emulsioita kaadettiin kolmelle halkaisijaltaan 10 cm:n Teflon-petrimaljalle (20 ml/malja) ja niitä kuivattiin lämpökaapissa 25 tai 30 °C:ssa yön yli. Falcon-putkiin (3 kpl) mitattiin 10 ml emulsiota ja säilytettiin 5 °C:ssa.

Arabikumista valmistettiin emulsio Alin ym. (2010) menetelmää mukaillen. Arabikumia punnittiin 10 % liuoksen painosta ja lisättiin tislattuun veteen sekoittaen (500 rpm, 40 °C) vesihauteessa usean tunnin ajan. Liuos jäähdytettiin huoneenlämpöön ja pH tarkistettiin (pH 4,2). Toiseen emulsioista lisättiin glyserolia 30 % polysakkaridin painosta ja sekoitettiin (500 rpm) 10 minuuttia. Rypsiöljyn (50 % polysakkaridin painosta) lisäämisen jälkeen liuos homogenoitiin Ultra Turraxilla (11 000 rpm) 3 minuutin ajan ja korkeapainehomogenisaattorilla kierrätettiin kolme kertaa laitteen läpi (1000 bar). Näytteet petrimaljoihin ja Falcon-putkiin valmistettiin samalla tavalla kuin aikaisempiin emulsioihin. Kalvot kuivattiin 25 °C:ssa lämpökaapissa yön yli.

Herneproteiiniemulsio valmistettiin mukaillen Choin ja Hanin (2002) käyttämää menetelmää. Herneproteiini punnittiin ja valmistettiin 10 % liuos, joka lisättiin punnittuun tislattuun veteen sekoittaen (700 rpm) kaksi tuntia tai yön yli. Liuoksen pH tarkistettiin (pH 7,2). Herneproteiini denaturoitiin kuumentaen liuosta 25 minuuttia 90 °C:ssa vesihauteessa. Tämän jälkeen liuos jäähdytettiin huoneenlämpöön ja glyseroli (30 % proteiinin märkäpainosta) lisättiin liuokseen ja sekoitusta jatkettiin 10 minuutin ajan. Rypsiöljy (50 % proteiinin painosta) lisättiin liuokseen ja liuos homogenoitiin Ultra Turraxilla (11 000 rpm) 5 minuutin ajan. Korkeapainehomogenisaattori ei saavuttanut haluttua painetta (1000 bar), joten homogenisoinnissa käytettiin 800 bar painetta. Emulsio kierrätettiin laitteen läpi kolme kertaa. Näytteet valmistettiin petrimaljoihin ja Falcon-putkiin kuten edellisiin emulsioihin. Kalvot kuivattiin 25 °C:ssa lämpökaapissa yön yli.

Kitosaanista valmistettiin emulsio mukaillen Ojaghin ym. (2010) menetelmää. Etikkahaposta valmistettiin 1-prosenttinen liuos tislattuun veteen 1000 ml:n mittapullossa. Kitosaani punnittiin, ja siitä valmistettiin 2-prosenttinen liuos 1-prosenttiseen etikkahappoon sekoittaen (500 rpm) yön yli huoneenlämmössä. Kitosaani ei ollut liuennut yön aikana, joten liuotusta jatkettiin seuraavana päivänä sekoittaen 40 °C:ssa lämpöhauteessa kahden tunnin ajan. Liuos jäähdytettiin huoneenlämpöön ja pH tarkistettiin (pH 4,4). Pehmitintä sisältävään emulsioon lisättiin glyserolia 30 % kitosaanin painosta ja sekoitettiin (500 rpm) 20 minuuttia. Rypsiöljyä lisättiin 50 % kitosaanin märkäpainosta ja homogenoitiin Ultra Turraxilla (11 000 rpm) 5 min. Homogenointia jatkettiin korkeapainehomogenisaattorissa (800 bar, kierrätys 3 kertaa). Näytteet valmistettiin petrimaljoihin ja Falcon-putkiin kuten edellisiin emulsioihin. Kalvot kuivattiin huoneenlämmössä 2–3 vuorokautta, koska lämpökaappi ei ollut enää käytettävissä.

HPMC:sta (K4M) valmistettiin 1-prosenttinen liuos. Punnittuun HPMC-jauheeseen lisättiin 1/3 punnitusta tislattua veden määrästä kuumennettuna yli 90-celsiusasteiseksi ja sekoitettiin

(300 rpm) lämmityksessä, kunnes jauhe oli vettynyt täysin (30 min). Loput tislatus vedestä lisättiin kylmänä osittain jäinä, koska HPMC K4M liukenee alle 30 °C:n lämpötilassa. Sekoitusta jatkettiin (300 rpm) 30 minuutin ajan ja tämän jälkeen tarkistettiin pH (pH 7,1). Pehmitintä sisältävään liuokseen punnittiin glyserolia 30 % selluloosan märkápainosta ja sekoitettiin (300 rpm) 10–30 minuutin ajan. Rypsiöljyä lisättiin 50 % selluloosan märkápainosta ja homogenoitiin Ultra Turraxilla (11 000 rpm) 5 min. Homogenointia jatkettiin korkeapainehomogenisaattorissa (800 bar, kierrätys 3 kertaa). Näytteet valmistettiin petrimaljoihin ja Falcon-putkiin kuten edellisiin emulsioihin. Kalvot kuivattiin huoneenlämmössä 2–3 vuorokauden ajan.

HPMC:sta (E19) valmistettiin 3-prosenttinen liuos valmistajan suosituksesta. Selluloosaan lisättiin 1/3 tislatus vedestä kuumennettuna yli 90 °C:n lämpötilaan ja sekoitettiin lämmityksessä vähintään tunnin ajan. Loput punnitusta tislatus vedestä lisättiin kylmänä ja sekoitusta jatkettiin puolesta tunnista tuntiin. Liuoksen pH oli 7,1–7,3. Glyserolia lisättiin pehmitintä sisältävään liuokseen 30 % selluloosan märkápainosta ja sekoitettiin 30 minuutin ajan. Rypsiöljyä punnittiin 50 % selluloosan märkápainosta ja liuos homogenoitiin Ultra Turraxilla (11 000 rpm, 5 min) ja korkeapainehomogenisaattorilla (800 bar, kierrätys 3 kertaa). Näytteet valmistettiin petrimaljoihin ja Falcon-putkiin kuten edellisiin emulsioihin. Kalvot kuivattiin 25 °C:ssa lämpökaapissa yön yli, sillä lämpökaappi oli jälleen käytettävissä.

HPMC:sta (K99) valmistettiin 3-prosenttinen liuos valmistajan suosituksesta. HPMC:n lisättiin 1/3 tislatus vedestä kuumennettuna yli 90 °C:n lämpötilaan ja sekoitettiin lämmityksessä (300 rpm) vähintään kahden tunnin ajan. Loput punnitusta tislatus vedestä lisättiin kylmänä ja sekoitusta jatkettiin vähintään kolme tuntia kylmävesihauteessa tai yön yli huoneenlämmössä. Liuoksen pH oli 7,5. Glyserolia lisättiin pehmitintä sisältävään liuokseen 30 % selluloosan märkápainosta ja sekoitettiin (300 rpm) 30 minuutin ajan. Rypsiöljyä punnittiin 50 % HPMC:n märkápainosta ja liuos homogenoitiin Ultra Turraxilla (11 000 rpm, 5 min) ja korkeapainehomogenisaattorilla (800 bar, kierrätys 3 kertaa). Näytteet valmistettiin petrimaljoihin ja Falcon-putkiin. Kalvot kuivattiin 25 °C:ssa lämpökaapissa yön yli.

Valmistajan suosituksesta metyyli-selluloosa Wellence SmartFry 60:sta valmistettiin 3-prosenttinen liuos yli 90 °C:n tislattuun veteen (1/3 veden määrästä) ja sekoitettiin lämpölevyllä (300 rpm) kahden tunnin ajan. Loput tislatus vedestä lisättiin kylmänä ja sekoitusta jatkettiin (300 rpm) 2,5–5 tuntia kylmävesihauteessa. Glyserolia lisättiin (30 % HPMC:n märkápainosta) pehmitintä sisältävään liuokseen ja sekoitettiin (300 rpm) 30 minuuttia. Liuokseen lisättiin rypsiöljyä 50 % HPMC:n märkápainosta ja se homogenoitiin Ultra Turraxilla

(11 000 rpm) 5 min ja korkeapainehomogenisaattorilla (800 bar, kierrätys 3 kertaa). Näytteet valmistettiin petrimaljoihin ja Falcon-putkiin kuten edellisiin emulsioihin. Kalvot kuivattiin 25 °C:ssa lämpökaapissa yön yli.

Perunaproteiini oli tumman ruskeaa ja karkeaa jauhetta. Jauheen proteiinipitoisuus oli valmistajan tietojen mukaan 59 ± 7 %. Perunaproteiinilla tehtiin useita kokeiluja, koska sitä ei saatu liukenemaan. Perunaproteiinista tehtiin 1- tai 5-prosenttinen liuos tislattuun veteen. Liuosta lämmitettiin 40 °C:ssa sekoittaen 1–2 tuntia tai sekoitettiin yön yli huoneenlämmössä. Liuosta suodatettiin imulla tai ilman, mutta se suodattui erittäin huonosti. Liukene-maton karkea jauhe esti nesteen suodattumista. Liuosten pH oli 3,1–3,3. Osassa kokeiluista pH:ta säädettiin 1 M NaOH:lla, jotta saatiin pH:ksi 6, 7 tai 8. Tämäkään ei parantanut perunaproteiinin liukoisuutta. Proteiini denaturoitiin 70 tai 80 °C:ssa 20–30 min tai sitä ei denaturoitu lainkaan. Homogenointi tehtiin Ultra Turraxilla erilaisilla yhdistelmillä: 11 000 rpm 3 min, 11 000 rpm 3 min ja 16 000 rpm 5 min, 11 000 rpm 3 min ja 19 000 rpm 3 min tai 11 000 rpm 3 min ja 24 000 rpm 5 min. Homogenointi tehtiin myös Ultra Turraxilla 11 000 rpm 5 min ja korkeapainehomogenisaattorilla (800 bar). Korkeapainehomogenisaattorissa liuos kierrätettiin läpi vain kerran, koska se saostui. Emulsiot eivät onnistuneet erilaisista yrityksistä huolimatta.

Juuresten päällystäminen

Valmistetuilla emulsioilla testattiin juuresten päällystämistä. Päällystettävät porkkanat ja palsternakat hankittiin tukusta, ja niiden lajikkeista ei ole tarkempaa tietoa. Porkkanat ja palsternakat pestiin, kuorittiin ja kuutioitiin (1x1x1 cm) Halde RG-100 -vihannesleikkurilla (AB Halde Maskiner, Ruotsi). Juureskuutiot upotettiin emulsioon 2 minuutin ajaksi ja tämän jälkeen valutettiin metallilävikössä 2 minuutin ajan. Seuraavaksi päällystetyt kuutiot olivat kuivumassa foliovuossa (Eskimo Finland Oy, Suomi) 30 minuuttia huoneenlämmössä, jotta päällysteen liotin haihtui suurimmaksi osaksi pois. Kuutiot paistettiin foliovuossa Metos-kiertoilmaunissa (CPCM 6, Metos Oy Ab, Saksa) kiertoilman ollessa puolella teholla 175 °C:ssa 17–18 minuutin ajan. Kuutioiden ulkonäköä arvioitiin paistamisen jälkeen visuaalisesti.

Esikokeiden tulokset

Esikokeissa tarkasteltiin aistinvaraisesti emulsiokalvoja ja päällystettyjä juureksia. Myös emulsioiden pysyvyyttä seurattiin Falcon-putkien avulla 1–3 viikkoa ja arviot tehtiin visuaalisesti. Näiden tulosten perusteella valittiin materiaalit varsinaisiin kokeisiin.

Soija-, hera- ja herneproteiinista sekä arabikumista ilman glyserolia valmistetut kalvot olivat lohkeilevia. Soija- ja herneproteiinkalvot, jotka sisälsivät glyserolia, olivat joustavia ja koossapysyviä. Arabikumi- ja heraproteiinkalvot olivat lohkeilevia, vaikka ne sisälsivät glyserolia. Puolestaan kitosaanista glyserolilla tai ilman valmistetut kalvot olivat yhtenäisiä. Ilman glyserolia valmistetut kalvot olivat kuitenkin selvästi jäykempiä kuin glyserolia sisältävät kalvot. Kaikki edellä mainitut kalvot olivat väriltään kellertäviä tai vaalean ruskeita. Arabikumista valmistetut kalvot olivat tymeän ja rasvaisen makuisia. Puolestaan muut edellä mainitut kalvot olivat mauttomia tai lähes mauttomia. Kitosaanikalvoissa oli havaittavissa mieto etikkainen haju.

HPMC- ja metyylielluloosakalvot olivat sekä glyserolilla että ilman sitä yhtenäisiä, lohkeilemattomia, mauttomia, läpinäkyviä ja väriltään hiukan opaaleja. HPMC E19- ja K99- sekä metyylielluloosa SmartFry 60 -kalvot olivat jykkiä ja muovimaisia, mutta HPMC K4M -kalvot olivat silkkipaperimaisen ohuita.

Emulsion pysyvyyttä seurattiin seisottamalla emulsioita Falcon-putkissa 5 °C:n lämpötilassa. Faasien erottumista oli havaittavissa ainoastaan arabikumista valmistetuissa emulsioissa, joihin oli muodostunut vaalea kalvo pintaan seitsemän päivän säilytyksen aikana.

Paiston jälkeen päällystettyjen juuresten pinnalla ei ollut silmällä selvästi havaittavissa jälkiä päällysteestä. Arabikumilla päällystetyissä kuutioissa oli muutamassa nähtävissä kiiltoa pinnassa. Puolestaan heraproteiinilla päällystetyt kuutiot olivat tarttuneet paistamisen yhteydessä tiukasti kiinni folioon. Metyylielluloosalla päällystetyt kuutiot olivat toisissaan kiinni paistamisen jälkeen. Muutamissa kalvoissa havaittu väri ei vaikuttanut juureskuutioiden ulkonäköön. Perunaproteiinista valmistetut emulsiot eivät onnistuneet, joten niillä ei päällystetty juureksia.

Varsinaisiin kokeisiin otettiin päällystemateriaaleiksi soijaproteiini-isolaatti, kitosaani ja HPMC K4M. Materiaalit valittiin sen perusteella, että ne muodostivat itsenäisen kalvon ja päällyste ei aiheuttanut havaittavia muutoksia juureskuutioihin paistamisen yhteydessä. Varsinaisissa kokeissa valmistettiin päällysteliuokset glyserolia käyttäen, koska kalvot halkeilivat ilman glyserolia.

3.1.2 Varsinaiset kokeet

Varsinaisissa kokeissa tutkittiin syötävien päällysteiden vaikutusta porkkanan ja palsternakan säilyvyyteen sekä paistamisen vaikutusta päällysteeseen ja päällystettyyn juurekseen. Päällystämättömät juurekset olivat mukana kokeissa vertailunäytteinä. Säilyvyyttä mitattiin painohäviönä verrattuna alkutilanteeseen.

Päällystemateriaalien kuiva-ainepitoisuus

Soijaproteiini-isolaatista, kitosaanista ja HPMC K4M:sta määritettiin kuiva-ainepitoisuudet. Jauheiden kuivaus tehtiin vakuu-ilmälämpökaapissa (Salvis Vacucenter VC50, Salvis AG, Sveitsi) lämpötilan ollessa 51 °C. Punnitusastiat taarattiin vakuu-ilmälämpökaapissa tunnin ajan, ja niitä jäähdytettiin yhtä kauan vakuu-ilmäselektroattorissa, jossa oli kuivausaineena fosforipentoksidi (P_2O_5). Jauheita punnittiin analyysivaa'alla (Precisa 100A-300M, Oerlikon AG, Sveitsi) noin kolme grammaa kolmena rinnakkaisena. Näytteet kuivattiin vakuu-ilmälämpökaapissa 20 tunnin ajan. Kuivaamisen jälkeen näytteet jäähdyivät tunnin ajan vakuu-ilmäselektroattorissa ennen punnitusta. Soijaproteiini-isolaattijauheen keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus oli $94,24 \pm 0,05$ %. Kitosaanin kuiva-ainepitoisuus oli $93,12 \pm 0,03$ % ja HPMC K4M:n oli $97,03 \pm 0,01$ %.

Juuresten vesipitoisuus

Porkkanoista ja palsternakoista määritettiin kosteuspitoisuus pakkaskuivauksen avulla. Pestyistä ja kuorituista porkkanoista ja palsternakoista tehtiin 1,5 mm:n paksuisia viipaleita Halde-vihannesleikkurilla. Viipaleet leikattiin 2–3 mm:n suikaleiksi leikkuveitsellä, ja suikaleet siirrettiin pieniin lasisiin tuikepulloihin viitenä rinnakkaisena. Näytteet punnittiin ja jäähdytettiin –20 °C:ssa pakastimessa kahden tunnin ajan. Näytteet siirrettiin –80-celsiusasteeseen pakastimeen ja niitä pakastettiin kolme vuorokautta. Pakastetut näytteet kuivattiin Lyovac GT 2 -pakkaskuivaimessa (Amsco Finn-Aqua GmbH, Saksa) noin 69 tunnin ajan ($p < 0,1$ mbar). Kuivatut näytteet siirrettiin tuikepulloissa vakuu-ilmäselektroattoriin, jonka kuivausaineena oli fosforipentoksidi. Näytteet punnittiin, kun ne olivat olleet vakuu-ilmäselektroattorissa viiden vuorokauden ajan. Vesipitoisuus alussa ilmoitettiin kg H_2O /kg kuiva-ainetta. Porkkanoiden vesipitoisuus oli korkeampi kuin palsternakkojen vesipitoisuus. Pakkaskuivauksen avulla saatiin porkkanan vesipitoisuudeksi 10,2 kg H_2O /kg kuiva-ainetta. Pals-

ternakan vesipitoisuus puolestaan oli 4,85 kg H₂O/kg kuiva-ainetta. Porkkanan kosteuspi-
toisuus tuoreen näytteen painosta massaprosentteina ilmaistuna oli 91,1±0,3 % ja palsterna-
kan oli 82,9±0,3 %.

Emulsioiden valmistus

Varsinaisiin kokeisiin valituista päällystemateriaaleista valmistettiin emulsiot (800 g). Jo-
kaisesta päällystemateriaalista valmistettuun emulsioon tuli glyserolia 30 % proteiinin tai
polysakkaridin kuiva-aineesta. Emulsioiden valmistuksessa rasvafaasissa oli sekä rypsiöljyä
että 100-prosenttista timjamiöljyä (*Thymus vulgaris*, Frantsila, Suomi). Öljyä oli 50 % pro-
teiinin tai polysakkaridin kuiva-aineesta. Timjamiöljyä oli jokaisessa emulsiossa laskennal-
lisesti 0,5 % emulsion kokonaismäärästä.

Soijaproteiini-isolaattia punnittiin (Precisa 1000C-3000D, Pag Oerlikon Ag, Sveitsi) 5 %
kuivapainosta (42,4 g) ja siihen lisättiin punnittu tislattu vesi (723,7 g). Liuosta sekoitettiin
(500 rpm) yön yli huoneenlämmössä. Soijaproteiinin liuettua tarkistettiin pH (pH 7,7). Soi-
japroteiini denaturoitiin vesihautessa 80 °C:n lämpötilassa samalla sekoittaen (250 rpm) ja
pidettiin tässä lämpötilassa 20 minuuttia. Liuos jäähdytettiin huoneenlämpöön kylmäve-
sihauhteessa. Glyseroli (12,7 g) lisättiin liuokseen ja sekoitettiin (500 rpm) 10 minuuttia.
Rypsiöljyä punnittiin 17,2 g ja timjamiöljyä 4 g. Liuoksen homogenointi aloitettiin Ultra
Turraxilla (11 000 rpm, 5 min) ja jatkettiin korkeapainehomogenisaattorilla (1000 bar) kier-
rättäen kolme kertaa laitteen läpi. Homogenointia aloitettaessa korkeapainehomogenisaatto-
rin käynti muuttui hitaaksi ja paine nousi 1000 baariin, kuten se oli ollut esikokeiden ensim-
mäisiä emulsioita valmistettaessa.

Kitosaanista valmistettiin 2-prosenttinen liuos kuiva-aineeksi laskettuna (17,2 g). Kitosaani
liuotettiin punnittuun 1-prosenttiseen etikkahappoon (769 g) sekoittaen (500 rpm) yön yli
huoneenlämmössä. Kitosaani ei ollut liuennut tässä ajassa, joten liuotusta jatkettiin 40 °C
lämmivesihauhteessa vielä yön yli. Kitosaaniliuos jäähdytettiin huoneenlämpöön kylmäve-
sihauhteessa ja pH tarkistettiin (pH 4,6). Punnittu glyseroli (5,2 g) lisättiin ja sekoitettiin
(500 rpm) 20 minuuttia. Punnittu öljyt (rypsiöljy 4,6 g ja timjamiöljy 4 g) lisättiin, homoge-
noitiin Ultra Turraxilla 11 000 rpm 5 min ja korkeapainehomogenisaattorilla (1000 bar)
kierrätettiin kolme kertaa laitteen läpi.

HPMC K4M punnittiin 1 % kuivapainosta (8,2 g), ja siihen lisättiin sekoittaen (300 rpm)
yksi kolmasosa tislattua vedestä (90 °C). Sekoitusta jatkettiin, kunnes selluloosa oli vetty-

nyt. Loput vedestä lisättiin kylmänä, osittain jäänä ja sekoitusta jatkettiin, kunnes muodostunut geeli oli liennut. Tarkistettiin pH (pH 7,1). Glyceroli (2,5 g) lisättiin ja sekoitettiin (300 rpm) 20 minuuttia. Öljyä lisättiin 4,1 g (rypsiöljyä 0,1 g ja timjamiöljyä 4 g). Emulsio valmistettiin homogenoimalla (11 000 rpm, 5 min) Ultra Turraxilla ja korkeapainehomogenisaattorilla (1000 bar) kierrättäen 3 kertaa laitteen läpi. Kaikki emulsiot säilytettiin 5 °C:n lämpötilassa, kunnes ne käytettiin päällystykseseen.

Emulsioiden viskositeetti

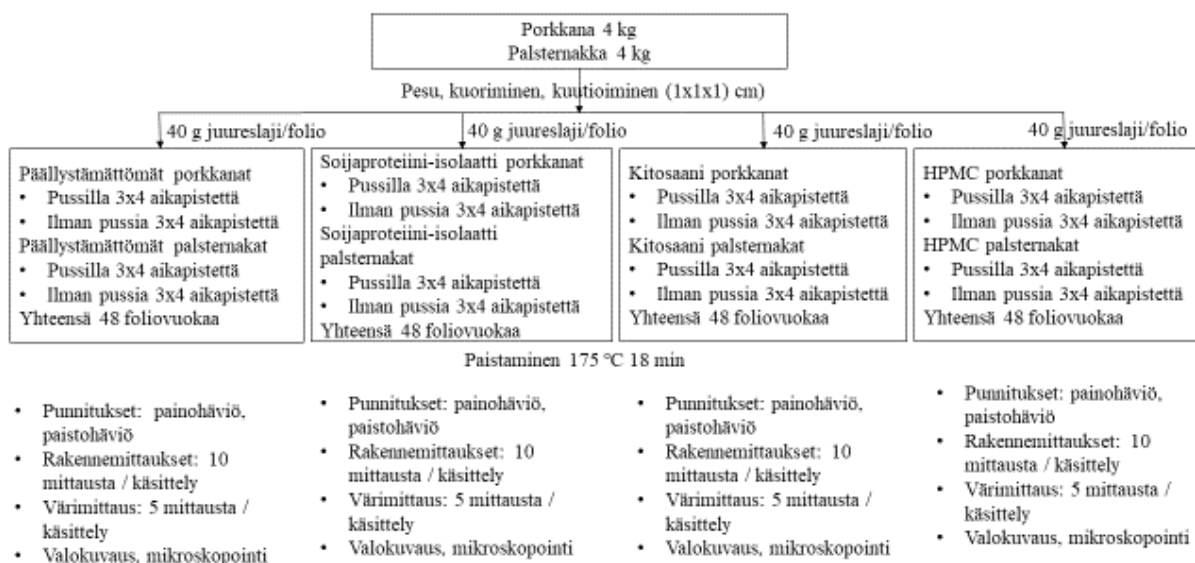
Varsinaisiin kokeisiin valitusta päällysteliuoksista määritettiin viskositeetti. Viskositeetti määritettiin RheolabQC-viskometrillä (Anton Paar, Itävalta), jossa oli Star Rheoplus-ohjelmisto. Mittauksessa käytettiin CC27-kartiota ja mittakuppina oli C-CC27/QC-LTD. Mittaus tehtiin 20-ceisiusasteen lämpötilassa. Leikkausnopeus oli ensin 2–100 $1/s$, sitten se pysyi vakiona 100 $1/s$ ja lopuksi laski 100–2 $1/s$. Viskositeetti laskettiin kymmenestä mittapistestä leikkausnopeuden ollessa 100 $1/s$ kahdesta tai kolmesta rinnakkaisnäytteestä. Soijaproteiini-isolaatista valmistetun emulsion viskositeetti oli 5,48 mPa s. Kitosaaniemulsion viskositeetti oli 24,5 mPa s ja HPMC K4M-emulsion viskositeetti oli puolestaan 43,4 mPa s.

Koeasetelma

Kuutioidut porkkanat ja palsternakat päällystettiin soijaproteiini-isolaatista, kitosaanista ja HPMC K4M:sta valmistetuilla emulsioilla. Mukana olivat myös päällystämättömät juurekset, jotta voitiin vertailla päällystettyjen ja päällystämättömien eroja. Varsinaisten kokeiden koeasetelma on esitetty kuvassa 2.

Juurekset pestiin, kuorittiin ja kuutioitiin kuten esikokeissa. Juuresten päällystämisen ensimmäinen punnittiin analyysivaa'alla (Mettler AE 160, Mettler-Toledo GmbH, Sveitsi) foliovuoka, jossa juurekset säilytettiin ja paistettiin. Tämän jälkeen foliovuokaan lisättiin 40 g juureksia kolmena rinnakkaisena. Aikapisteitä oli neljä eli 1, 4, 7 ja 10 vuorokautta, jolloin juurekset paistettiin ja niille tehtiin mittaukset. Juurekset säilytettiin polypropyleenipussissa (Hel-Pack Oy, Suomi) tai ilman pussia, jotta saatiin selville yksistään päällysteen antama suoja. Punnitut juurekset kastettiin päällysteeseen 2 minuutin ajan ja tämän jälkeen niitä valutettiin metallilävikössä 2 min. Päällystetyt juurekset siirrettiin takaisin foliovuokaan, ja päällysteen liuottimen annettiin haihtua huoneen lämmössä 2–4 tuntia. Päällystämättömiä juureksia ei kastettu mihinkään liuokseen. Päällystetyt juurekset punnittiin päällysteen kuivuttua. Pussil-

liset foliovuokat pussitettiin, ja pussit saumattiin Multivac N25 -saumauslaitteella (Sepp Haggenmüller KG, Saksa). Pusseihin tehtiin kolme reikää 27G-injektioneulalla (0,4 x 16 mm, Nipro Corporation, Japani). Juuresfoliot säilytettiin Binder-olosuhdekaapissa (Binder GmbH, Saksa) 4 °C:n lämpötilassa, mutta ilman kosteutta ei pystytty säätämään kaapin sijoituspaikassa. Kaapissa oli kaksi valoa päällä jäljitellen vähittäiskaupan valaistusolosuhteita. Juurekset paistettiin eri aikapisteissä 175 °C:n lämpötilassa Metos-kiertoilmauunissa 18 minuutin ajan.



Kuva 2. Varsinaisten kokeiden koeasetelma.

Analyysit

Pussillisista näytteistä mitattiin happi- ja hiilidioksidipitoisuus ennen pussin poistoa kaasumittauslaitteella (Check Mate 9900 O₂/CO₂, PBI Dansensor A/S, Tanska). Mittaus tehtiin puhkaisemalla laitteessa olevalla neulalla pussi ja käynnistettiin mittaus. Tulokset ilmoitettiin kolmen rinnakkaisnäytteen keskiarvona. Jokaisella mittauksella myös huoneilman kaasupitoisuus mitattiin.

Säilyvyyskokeessa kaikki näytteet punnittiin säilytyksen jälkeen neljässä aikapisteessä (1, 4, 7 ja 10 vrk). Säilyvyyttä mitattiin painohäviön avulla. Painohäviö ilmoitettiin prosentuaalisena painohäviönä alkuperäiseen painoon verrattuna.

Juureksista analysoitiin paistamisen jälkeen rakennetta yhden, neljän, seitsemän ja kymmenen vuorokauden säilytyksen jälkeen. Juuresten rakennetta mitattiin puristuslujuusmittauksella aineenkoestuslaitteella (Instron 4465, Englanti). Mittauksessa käytettiin 100 Newtonin voimakennoa ja käytetty voima rekisteröitiin. Mittapään halkaisija oli 20 mm. Paistettu juureskuutio, jonka paksuus oli alle 1 cm, asetettiin tasaiselle teräksiselle alustalle. Rajoitin asetettiin 3 mm:n kohdalle, ja mittapää laskettiin lähelle kuution pintaa. Puristusnopeus oli 3 mm/min, ja määritykset tehtiin kymmenelle rinnakkaiselle näytteelle. Laite rekisteröi voiman mittapään siirtymän funktiona, ja näistä tuloksista saatiin määritettyä voima-muodonmuutoskuvaaja. Tuloksena ilmoitettiin muodonmuutoskuvaajan kulmakerroin (N/mm). Myös tuoreista porkkana- ja palsternakkakuutioista tehtiin mittaus. Muodonmuutoskuvaajan perusteella tuoreet porkkanat olivat kovempia (32 ± 6 N/mm) kuin palsternakat (20 ± 8 N/mm). Palsternakoilla oli hajontaa enemmän kuin porkkanoilla.

Juureksista analysoitiin paistamisen jälkeen väriä yhden, neljän, seitsemän ja kymmenen vuorokauden säilytyksen jälkeen. Tuoreiden, päällystämättömien ja paistettujen, päällystettyjen sekä päällystämättömien juuresten väriä mitattiin värimittarilla (Konica Minolta CM2600d, Japani). Värimittaus tehtiin yhdestä kohdasta viidelle rinnakkaiselle näytteelle. Mittauksessa käytettiin asetusryhmää COND2, jossa oli käytössä pieni aukko, valonlähteenä päivänvaloa edustava D65 ja mittauskulmana 10° . Mittaus kalibroitiin valkoisella kalibrointilevyllä. Mittauksella saadut arvot olivat: L^* eli vaaleus (musta = 0, valkoinen = 100), positiivinen a^* -arvo eli punaisuus, negatiivinen a^* -arvo eli vihreys, positiivinen b^* -arvo eli keltaisuus ja negatiivinen b^* -arvo eli sinisyys.

Paistohäviöllä selvitettiin, oliko päällysteellä vaikutusta kosteuden haihtumisessa paistamisen aikana. Paistohäviö laskettiin juureskuutioiden paistamisen aikana menettämä paino verrattuna ennen paistamista olleella painolla, ja tulos ilmoitettiin prosentteina.

Osasta näytteistä tutkittiin päällysteen ulkonäköä ja rakennetta paistamisen jälkeen USB-käsimikroskoopilla (Bresser 20x/200x, Meade Instruments Europe GmbH & Co, Saksa) 20-kertaisella suurennoksella. Osasta näytteistä otettiin myös valokuvat ennen paistamista ja paistamisen jälkeen vakiovalaistuksessa valokaapissa (VeriVide CAC-120-5, Englanti) asetuksella D50, joka vastaa 5000 Kelvinin värilämpötilaa.

Paistettuna päällystettyjä ja päällystämättömiä juureskuutioita havainnoitiin arvioimalla ulkonäköä, haistamalla ja maistamalla. Havainnoinnissa kiinnitettiin huomio timjamin tuoksuun ja sen pysyvyyteen juureskuutioissa paistamisen jälkeen. Myös paistamisen tuomaa väriä arvioitiin.

3.2 Tulokset

3.2.1 Pakkauksen kaasukoostumus

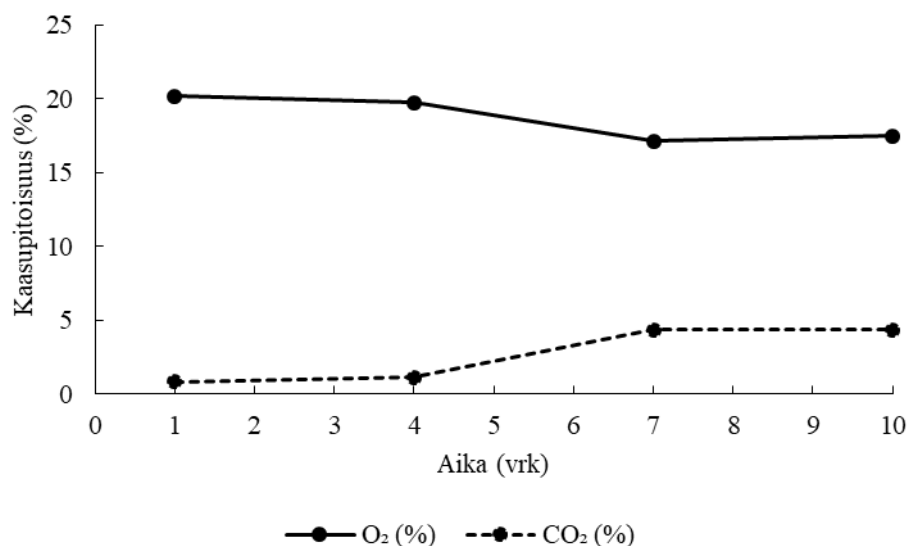
Kaasumittaukset tehtiin pussitetuista näytteistä ennen paistamista (taulukko 4). Päällystettyjen porkkanoiden pakkauksen happipitoisuus väheni ja hiilidioksidipitoisuus lisääntyi ajan kuluessa. Poikkeuksena tästä olivat kitosaanilla päällystetyt porkkanat, joiden pakkauksen happipitoisuus pysyi lähes muuttumattomana koko 10 vuorokauden ajan. Myös näiden porkkanoiden pakkauksessa olevan hiilidioksidipitoisuudessa oli eroa muihin päällystettyihin porkkanoihin nähden, sillä hiilidioksidipitoisuus väheni ensimmäisen vuorokauden pitoisuudesta 10 vuorokauden säilytyksen aikana.

Taulukko 4. Pussitettujen juuresten kaasumittaustulokset eri aikapisteissä.

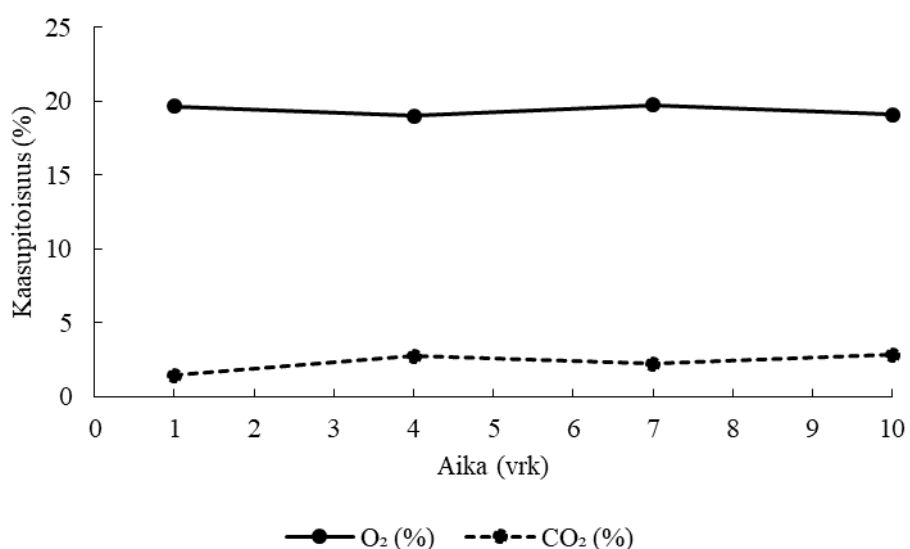
| Näyte | Säilytysaika (vrk) | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| | 1 | | 4 | | 7 | | 10 | |
| | O ₂ (%) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) | CO ₂ (%) |
| SPI, porkkana | 19,3±0,1 | 2,0±0,2 | 19,0±0,5 | 2,6±0,5 | 18,7±0,2 | 3,3±0,2 | 18,9±0,3 | 3,1±0,4 |
| SPI, palster- nakka | 19,1±0,3 | 2,1±0,2 | 18,0±0,6 | 4,0±0,5 | 18,4±0,6 | 3,7±0,6 | 17,5±0,6 | 4,6±0,7 |
| Kitosaani, pork- kana | 20,3±0,1 | 0,5±0,0 | 20,2±0,1 | 0,4±0,1 | 20,5±0,1 | 0,1±0,0 | 20,5±0,1 | 0,1±0,1 |
| Kitosaani, pals- ternakka | 20,1±0,2 | 1,0±0,2 | 18,9±0,4 | 2,3±0,5 | 19,2±0,3 | 2,0±0,4 | 18,8±0,1 | 2,4±0,1 |
| HPMC, pork- kana | 20,2±0,1 | 0,8±0,1 | 19,7±0,2 | 1,1±0,3 | 17,1±0,6 | 4,3±0,4 | 17,5±1,4 | 4,4±1,7 |
| HPMC, palster- nakka | 19,6±0,1 | 1,6±0,1 | 19,0±0,3 | 1,8±0,4 | 16,9±1,6 | 4,5±1,8 | 16,0±0,3 | 5,3±0,3 |
| Päällystämätön porkkana | 19,7±0,2 | 1,4±0,2 | 19,0±0,2 | 2,8±0,2 | 19,7±0,1 | 2,2±0,1 | 19,1±0,5 | 2,8±0,6 |
| Päällystämätön palsternakka | 19,4±0,1 | 1,6±0,1 | 19,3±0,3 | 2,3±0,4 | 19,6±0,2 | 2,1±0,3 | 19,1±0,1 | 2,7±0,2 |
| Huoneilma | 20,8 | 0,1 | 21,0±0,3 | 0,1±0,1 | 21,1 | 0,0 | 21,2±0,1 | 0,0 |

Päällystettyjen palsternakkojen pakkauksen happipitoisuus väheni ja hiilidioksidin lisääntyi säilytyksen aikana kaikilla päällystemateriaaleilla. Kuvassa 3 on esimerkkinä esitetty HPMC:lla päällystettyjen porkkanoiden pakkauksen sisällä vallitseva kaasukoostumus eri

aikapisteissä mitattuna. Kuvasta nähdään, että happipitoisuus laski ja hiilidioksidipitoisuus nousi ajan kuluessa. Kuvassa 4 on päällystämättömien porkkanoiden pakkauksen kaasukoostumus. Happi- ja hiilidioksidipitoisuus pysyi lähes muuttumattomana koko säilytyksen ajan.



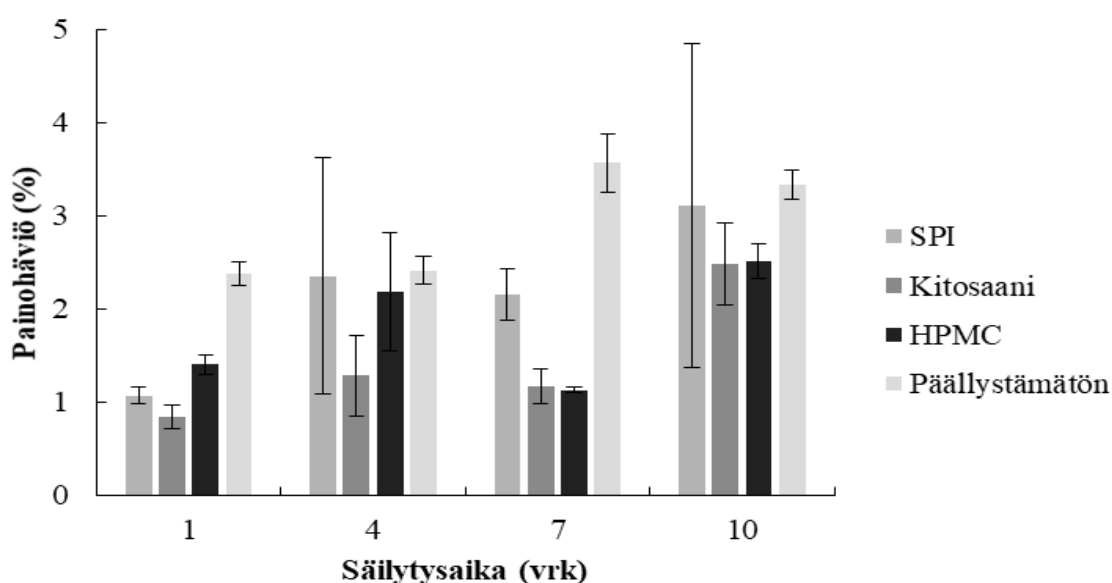
Kuva 3. HPMC:lla päällystettyjen porkkanoiden pussin sisäinen kaasukoostumus säilytyksen jälkeen mitattuna eri aikapisteissä.



Kuva 4. Päällystämättömien porkkanoiden pussin sisäinen kaasukoostumus säilytyksen jälkeen mitattuna.

3.2.2 Painohäviö

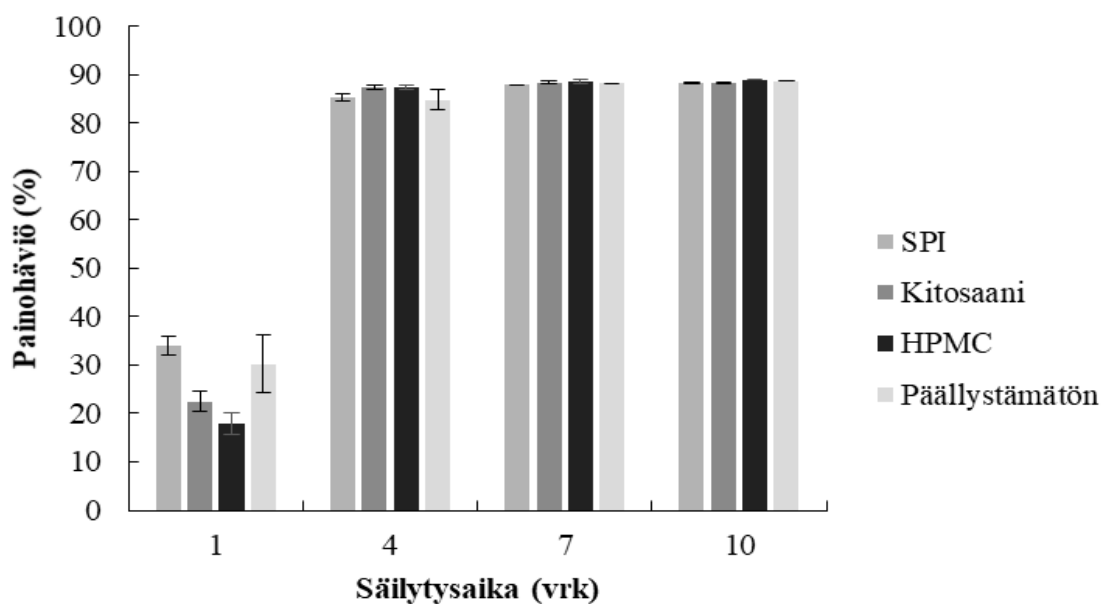
Painohäviön avulla mitattiin säilyvyyttä, ja näytteet punnittiin ennen paistamista. Päällysteestä haihtuvaa liuotinta ei otettu huomioon tuloksia laskettaessa. Pussitettujen porkkanoiden painohäviö oli vaihtelevaa (1–4 %), kunnes 10 päivän kohdalla päällystettyjen painohäviö selkeästi nousi (kuva 5). Kitosaanilla päällystettyjen porkkanoiden painohäviö oli pienin neljän vuorokauden kohdalla, mutta yhtä pientä HPMC:n kanssa seitsemän vuorokauden kohdalla. Päällystämättömillä porkkanoilla oli keskimäärin korkein painohäviö kaikissa aikapisteissä.



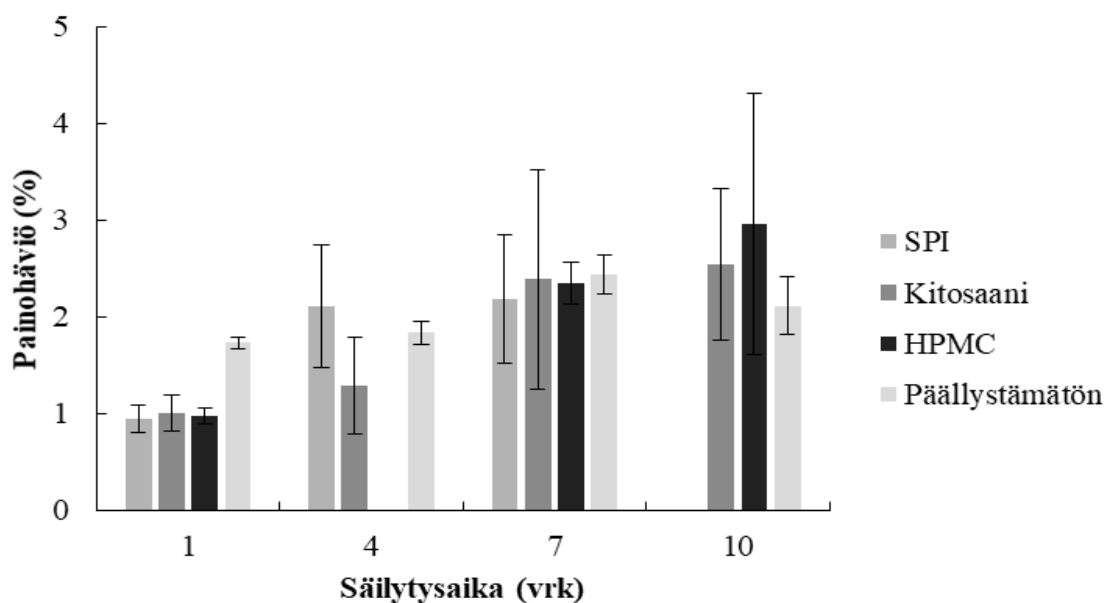
Kuva 5. Pussitettujen porkkanoiden säilytyksen aikainen painohäviö. Painohäviö ilmoitettu prosentuaalisena painohäviönä alkuperäiseen päällistetyn juuren painoon verrattuna.

Pussittomista porkkanoista soijaproteiini-isolaatilla päällystettyjen ja päällystämättömien painohäviö oli noin 30 % ensimmäisen vuorokauden kuluessa ja pienin oli HPMC:lla (20 %)(kuva 6). Säilytysajan ollessa 4–10 vuorokautta kaikki päällystetyt ja päällystämättömät porkkanat menettivät painoa 84–89 %.

Ensimmäisen vuorokauden kohdalla päällystetyt pussitetut palsternakkojen painohäviö oli 1 % ja päällystämättömät lähes 2 % (kuva 7). Päällystettyjen painohäviöt 4–10 vuorokauden kuluessa oli 2–3 %, mutta hajonnat olivat suuret. Päällystämättömillä tulokset olivat samansuuntaisia.

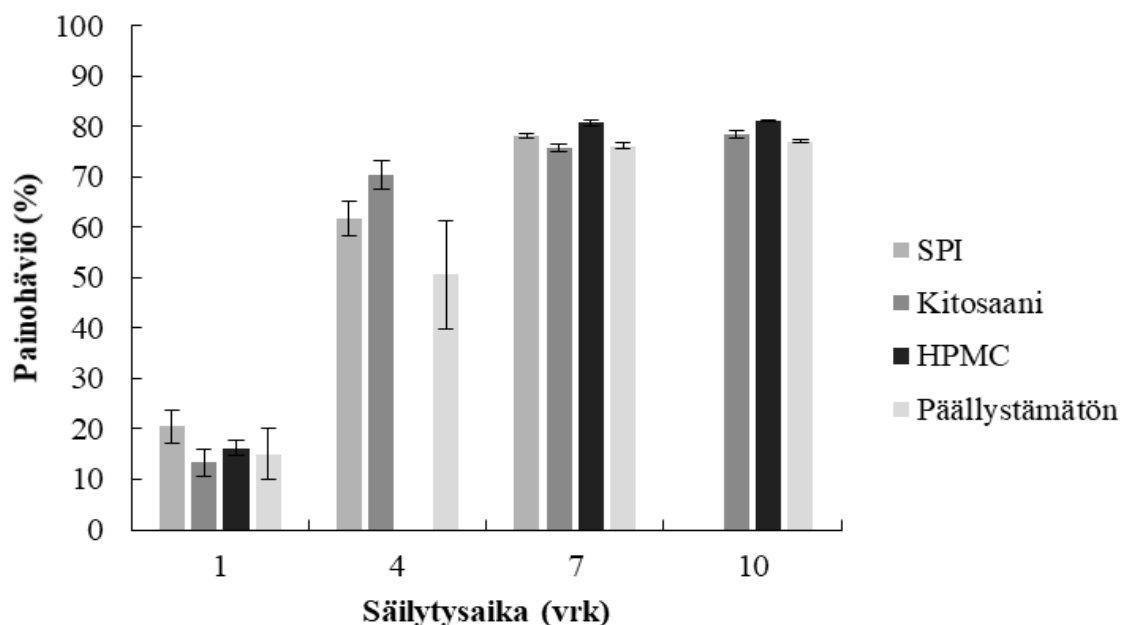


Kuva 6. Pussittomien porkkanoiden säilytyksen aikainen painohäviö. Painohäviö ilmoitettu prosentuaalisena painohäviönä alkuperäiseen päällystetyn juureksen painoon verrattuna.



Kuva 7. Pussitettujen palsternakkojen säilytyksen aikainen painohäviö. Painohäviö ilmoitettu prosentuaalisena painohäviönä alkuperäiseen päällystetyn juureksen painoon verrattuna. HPMC:n neljän vuorokauden tulos ja SPI:n kymmenen vuorokauden tulos puuttuvat.

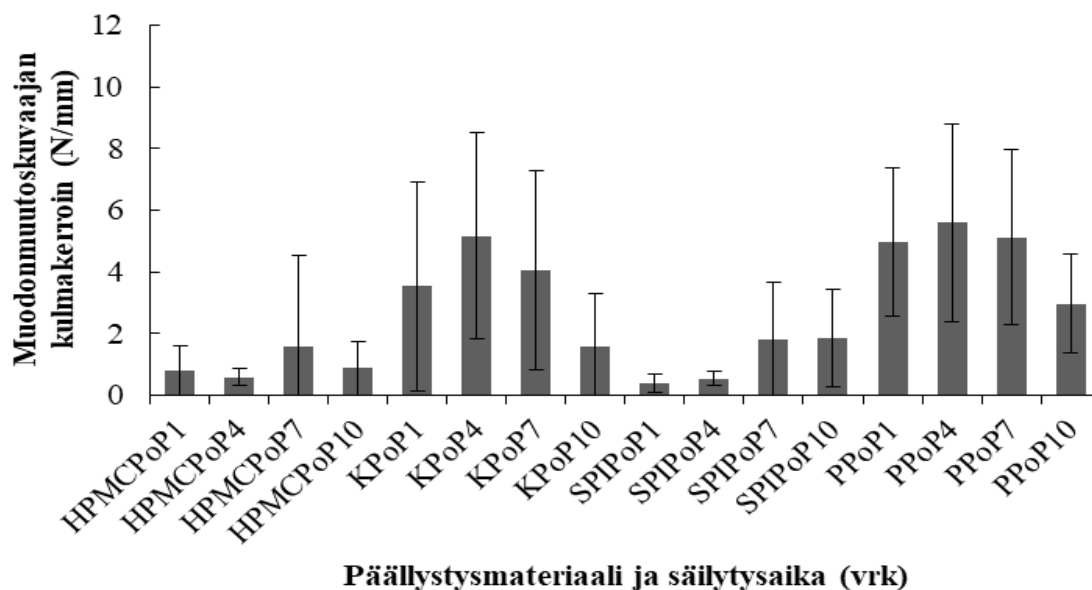
Kaikilla pussittomilla palsternakoilla painohäviö ensimmäisen vuorokauden kohdalla oli 13–21 % (kuva 8). 7–10 vuorokauden tulokset olivat kaikilla näytteillä 76–81 %.



Kuva 8. Pussittomien palsternakkojen säilytyksen aikainen painohäviö. Painohäviö ilmoitettu prosentuaalisena painohäviönä alkuperäiseen päälystetyn juuren painoon verrattuna. HPMC:n neljän vuorokauden tulos ja SPI:n kymmenen vuorokauden tulos puuttuvat.

3.2.3 Rakenne

Juuresten kovuutta mitattiin paistamisen jälkeen. Mitä suurempi muodonmuutoskuvaajan kulmakerroin oli, sitä kovempi oli näyte. Päälystetyistä porkkanoista HPMC:lla ja SPI:lla päälystettyjen kovuus oli yhtä pientä ensimmäisen ja neljännen vuorokauden kohdalla eli ne olivat pehmeimpiä (kuva 9). Kitosaanilla päälystettyjen ja päälystämättömien juureskuutioiden kovuus oli keskenään samaa suuruusluokkaa. Suurimmassa osassa näytteistä hajonnat olivat kuitenkin suuret.

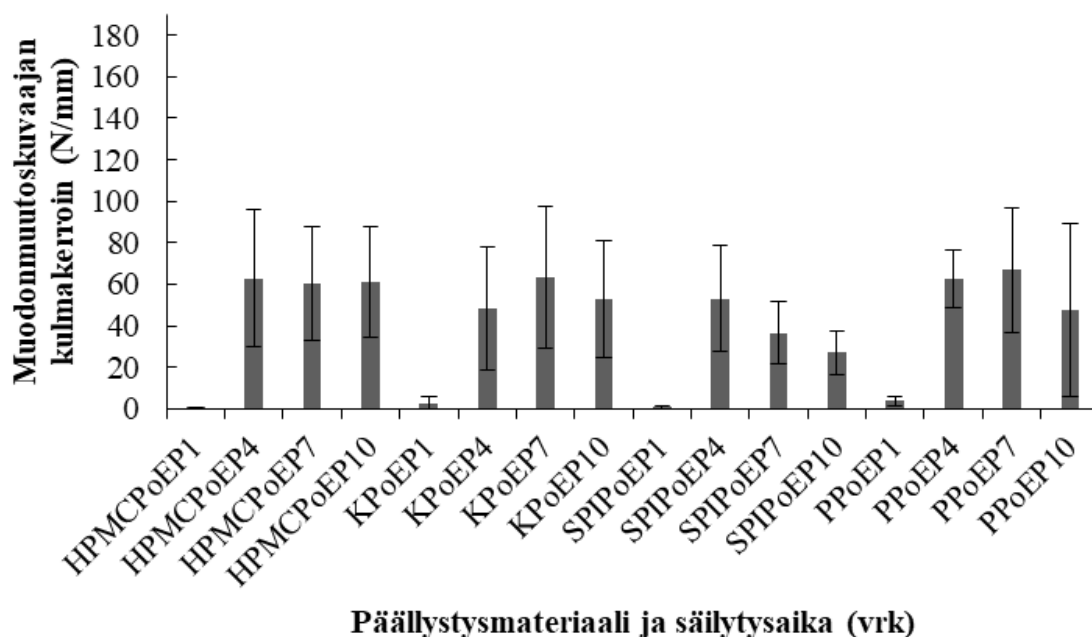


Kuva 9. Paistettujen pussitettujen porkkanoiden kovuudet. HPMCPoP1–10 = HPMC:lla päällystetty porkkana 1–10 vrk, KPoP1–10 = kitosaanilla päällystetty porkkana 1–10 vrk, SPIPoP 1–10 = soijaproteiinilla päällystetty porkkana 1–10 vrk ja PPOp1–10 = päällystämätön porkkana 1–10 vrk.

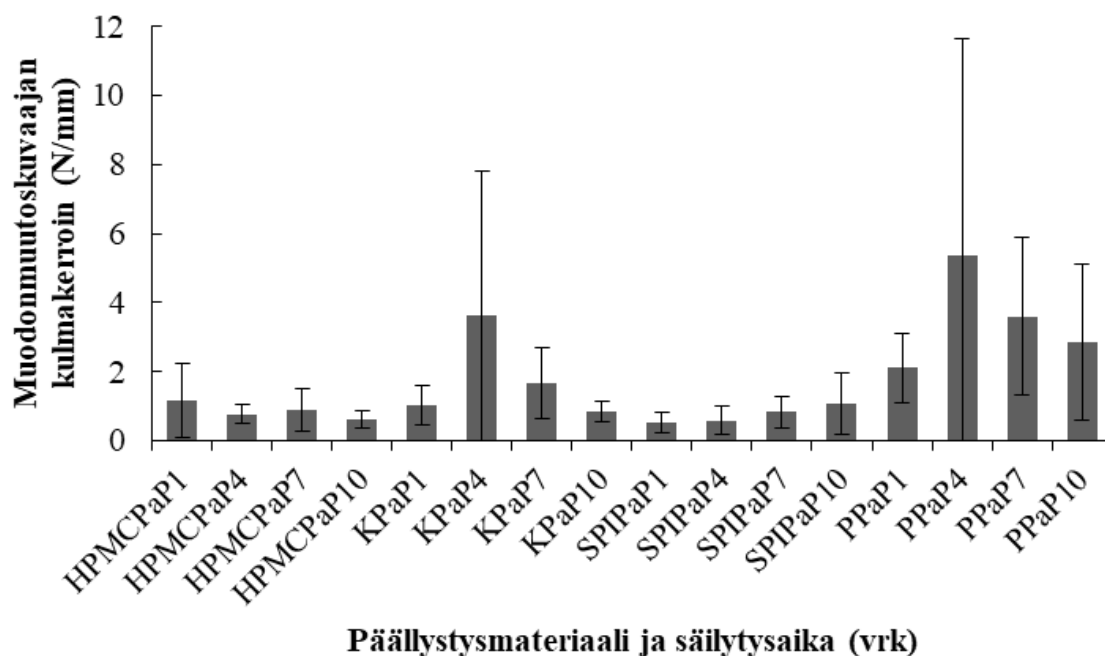
Pussittomien porkkanoiden kovuuden muutokset olivat erilaiset ajan kuluessa ja käsittelyn mukaan (kuva 10). Pussittomat porkkanat olivat selvästi kovempia kuin pussilliset. Kovimmat pussilliset porkkanat saivat tulokseksi 5 N/mm ja kovimmat pussittomat puolestaan 70 N/mm. Pussittomat porkkanat kuivuivat säilytyksen aikana ja paistettaessa ne muuttuivat rapeiksi.

HPMC:lla päällystettyjen pussitettujen palsternakkojen muodonmuutoskuvaajan kulmakero pysyi lähes samana koko tarkasteluajan (kuva 11). Myös soijaproteiini-isolaatilla päällystettyjen kovuus pysyi vakaana 1–10 vuorokauden ajan. Päällystämättömät näytteet olivat jokaisessa tarkasteluajankohdassa kovempia kuin päällystetyt näytteet. Osassa näytteistä hajonta oli suurta.

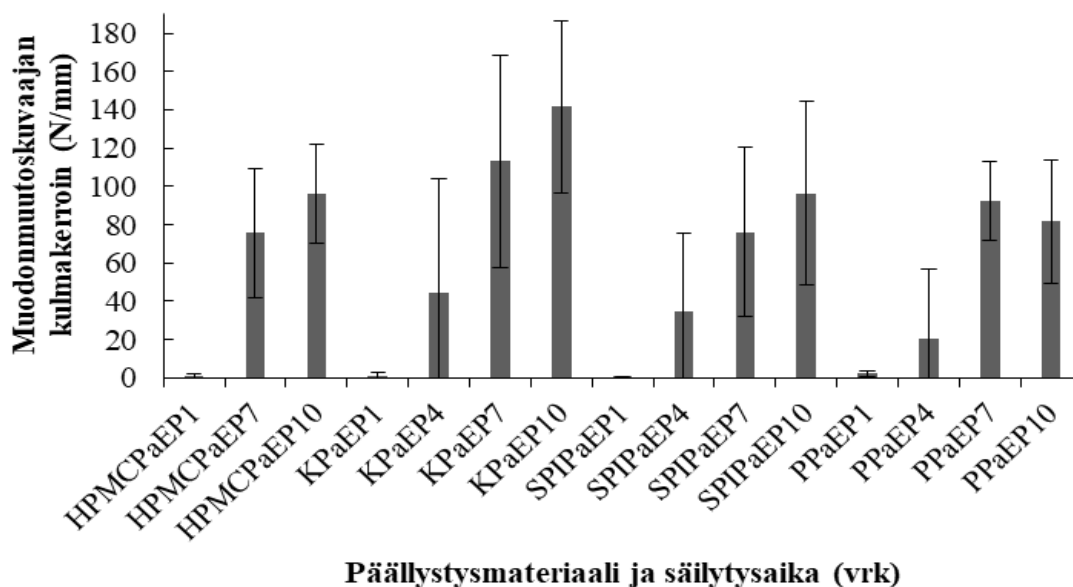
Pussittomat palsternakat käsittelystä riippumatta olivat pehmeimpiä ensimmäisen vuorokauden kohdalla (kuva 12). Kaikki näytteet kovenivat ajan kuluessa, ja hajonta oli suurta. Päällystämättömät palsternakat olivat kymmenen vuorokauden kohdalla niin kuivuneita, että ne olivat hauraita ja murtuivat helposti.



Kuva 10. Paistettujen porkkanoiden (ei pussia) kovuudet. HPMCPoEP1-10 = HPMC:lla päällystetty ja pussiton porkkana 1-10 vrk, KPoEP1-10 = kitosaanilla päällystetty ja pussiton porkkana 1-10 vrk, SPIPoEP 1-10 = soijaproteiinilla päällystetty ja pussiton porkkana 1-10 vrk ja PPoEP1-10 = päällystämätön ja pussiton porkkana 1-10 vrk.



Kuva 11. Paistettujen pussitettujen palsternakkojen kovuudet. HPMCPaP1-10 = HPMC:lla päällystetty ja pussitettu palsternakka 1-10 vrk, KPaP1-10 = kitosaanilla päällystetty ja pussitettu palsternakka 1-10 vrk, SPIPaP 1-10 = soijaproteiinilla päällystetty ja pussitettu palsternakka 1-10 vrk ja PPaP1-10 = päällystämätön ja pussitettu palsternakka 1-10 vrk.

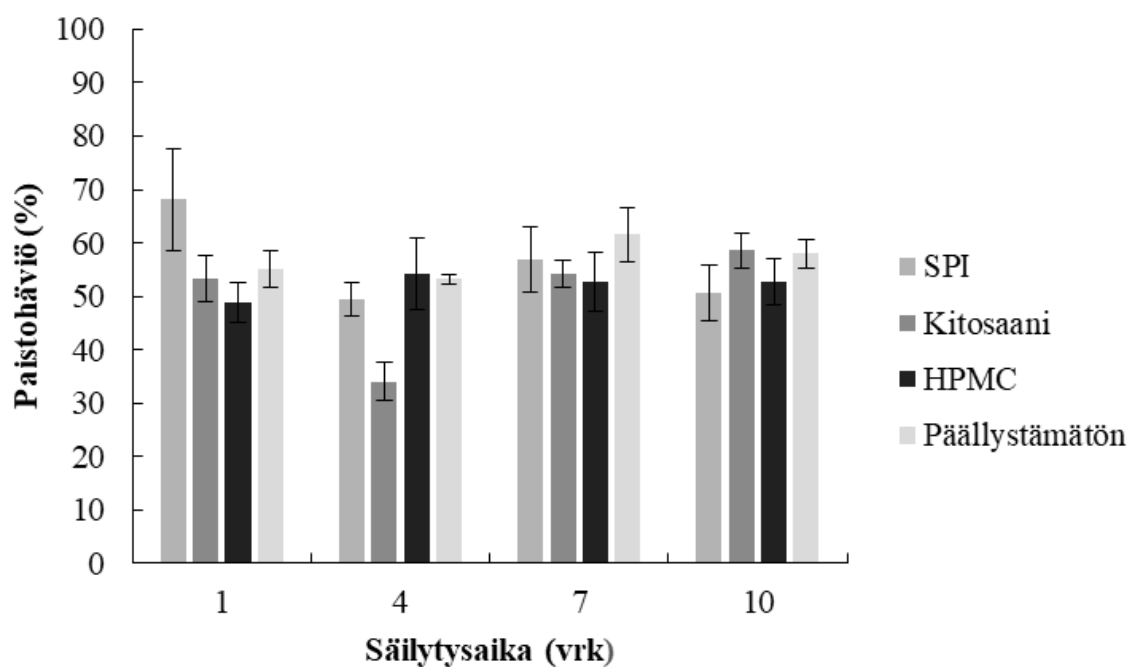


Kuva 12. Paistettujen palsternakkojen (ei pussia) kovuudet. HPMCPaEP1–10 = HPMC:lla päällystetty ja pussiton palsternakka 1–10 vrk, KPaEP1–10 = kitosaanilla päällystetty ja pussiton palsternakka 1–10 vrk, SPI-PaEP 1–10 = soijaproteiinilla päällystetty ja pussiton palsternakka 1–10 vrk ja PPaEP1–10 = päällystämätön ja pussiton palsternakka 1–10 vrk. HPMC:n neljännen vuorokauden tulos puuttuu.

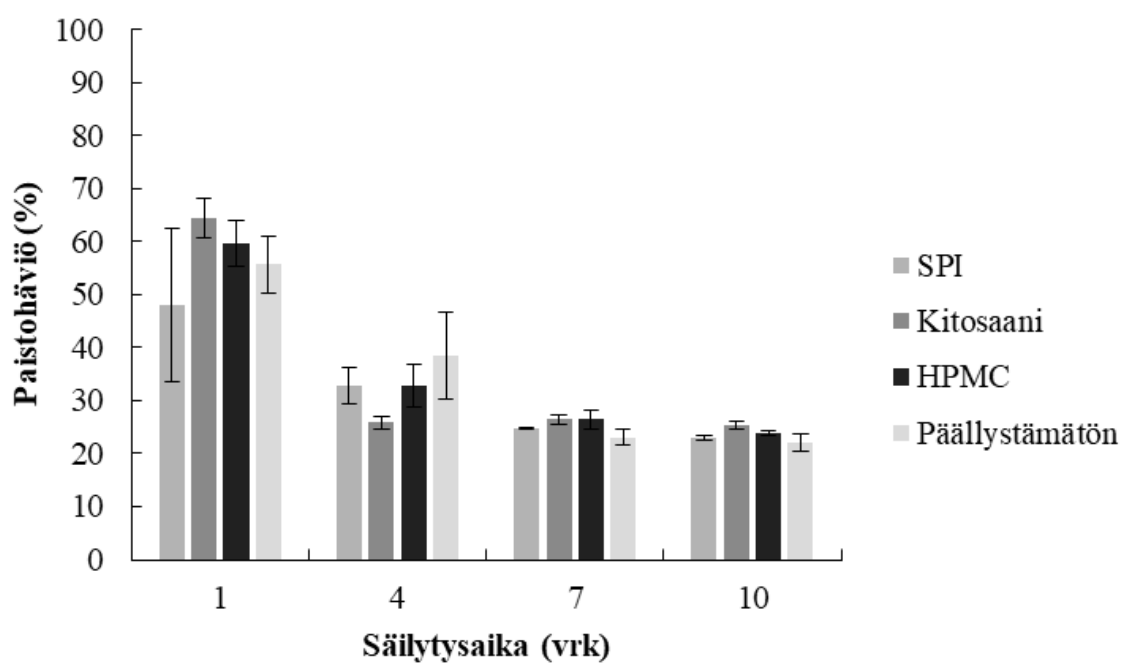
3.2.4 Paistohäviö

Paistohäviöllä haluttiin selvittää päällysteen vaikutus kosteuden haihtumiseen uunissa paistamisen aikana. Pussitetuilla porkkanoilla ei huomattu selviä eroja paistohäviössä, mutta kitosaanilla päällystettyjen porkkanoiden neljännen vuorokauden kohdalla oli pienin paistohäviö (34 %), kun se muilla oli 49–53 % (kuva13).

Pussittomien porkkanoiden paistamisessa tapahtunut paistohäviö oli suurinta ensimmäisen vuorokauden kuluessa, eli pussittomat porkkanat menettivät kosteutta paistamisen aikana 48–64 % (kuva 14). Kitosaanilla päällystettyjen porkkanoiden paistohäviö oli pienin neljännen vuorokauden kohdalla (26 %). Seitsemännen ja kymmenen vuorokauden kohdalla ei ollut päällystettyjen ja päällystämättömien porkkanoiden välillä mainittavia eroja.



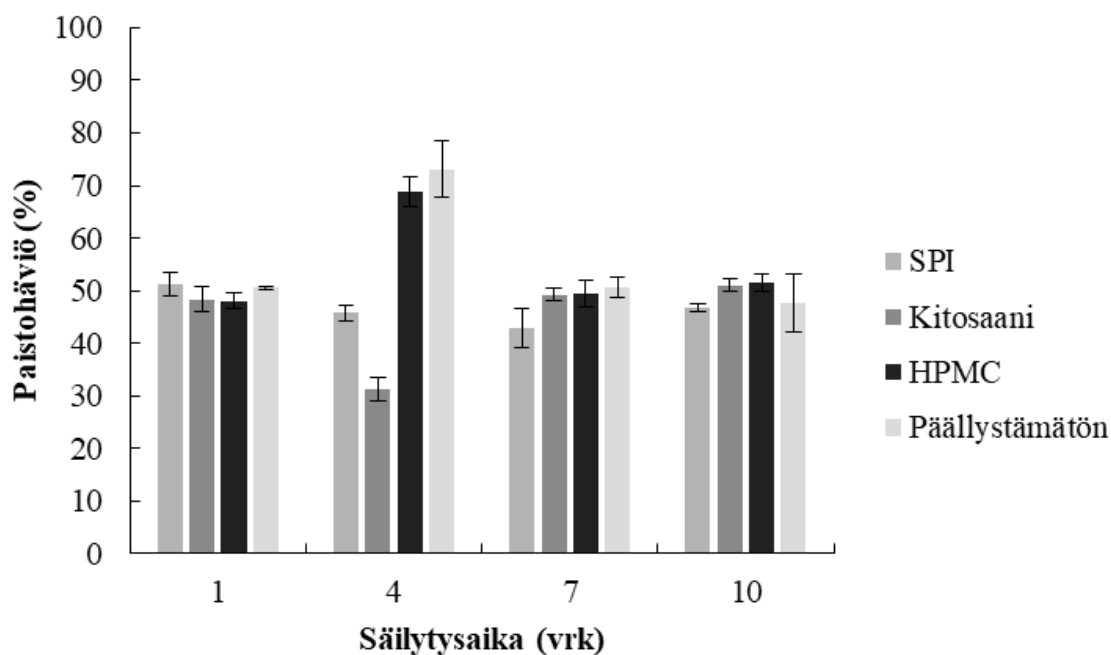
Kuva 13. Pussitettujen porkkanoiden paistohäviö. Paistohäviö ilmoitettu prosentuaalisena painohäviönä paistossa verrattuna juureksen painoon ennen paistoa.



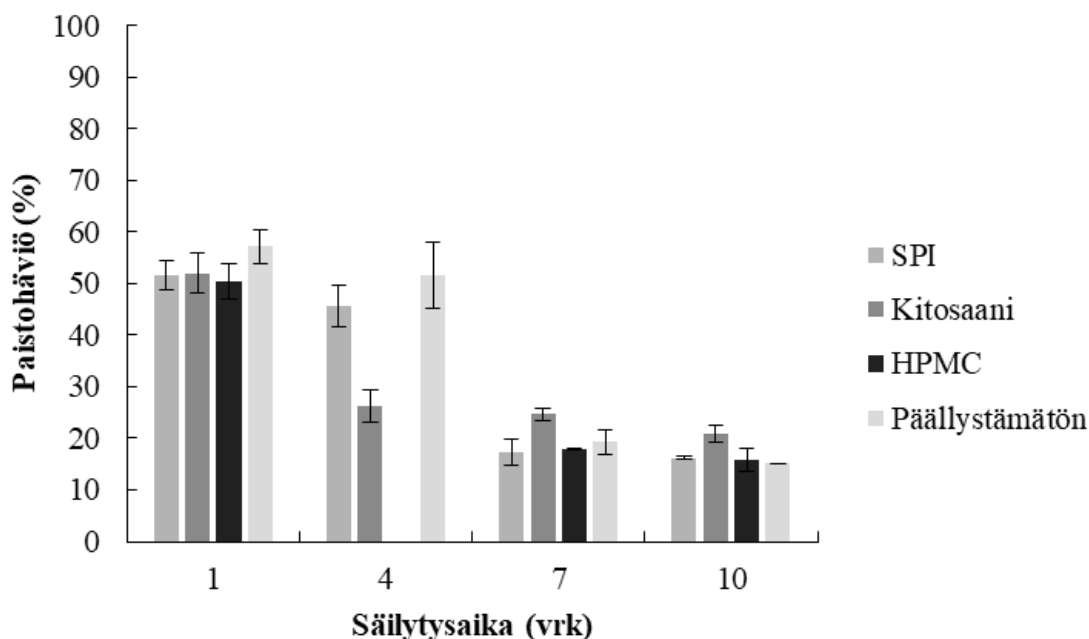
Kuva 14. Pussittomien porkkanoiden paistohäviö. Paistohäviö ilmoitettu prosentuaalisena painohäviönä paistossa verrattuna juureksen painoon ennen paistoa.

Pussitettujen palsternakkojen paistohäviössä ei ollut eroja ensimmäisen vuorokauden kuluessa (kuva 15). Neljännen vuorokauden kohdalla kitosaanilla päällystettyjen porkkanoiden paistohäviö oli pienin (31 %), seuraavana oli soijaproteiini-isolaatilla päällystetyt porkkanat (46 %). HPMC:lla päällystettyjen porkkanoiden paistohäviö oli 69 % ja päällystämättömien oli 73 %. Päällystettyjen ja päällystämättömien porkkanoiden välillä ei ollut eroja seitsemän ja kymmenen vuorokauden kohdalla.

Ensimmäisen vuorokauden aikana ei ollut selviä eroja päällystettyjen ja päällystämättömien pussittomien palsternakkojen paistohäviössä (kuva 16). Tässä pisteessä kitosaanilla päällystettyjen palsternakkojen paistohäviö pienin (26 %) ja päällystämättömien suurin (52 %). Seuraavissa pisteissä paistohäviö oli kaikilla lähes sama.



Kuva 15. Pussitettujen palsternakkojen paistohäviö. Paistohäviö ilmoitettu prosentuaalisena painohäviönä paistossa verrattuna juureksen painoon ennen paistoa.



Kuva 16. Pussittomien palsternakkojen paistohäviö. Paistohäviö ilmoitettu prosentuaalisena painohäviönä paistossa verrattuna juureksen painoon ennen paistoa. HPMC:n neljännen vuorokauden tulokset puuttuvat.

3.2.5 Väri

Tuoreista, paistamattomista juureksista mitattiin väriominaisuudet. Tuoreet palsternakat olivat vaaleampia (L^*) kuin tuoreet porkkanat (taulukko 5). Tuore porkkana oli selvästi punaisempi (a^*) kuin palsternakka, joka puolestaan oli vihreämpi kuin porkkana saaden myös negatiivisia mittausarvoja. Tuore porkkana oli keltaisempi (b^*) kuin palsternakka.

Taulukko 5. Tuoreen paistamattoman porkkanan ja palsternakan vaaleus, punaisuus ja keltaisuus.

| Näyte | Väriominaisuus | | |
|--------------------|----------------|---------|----------|
| | L^* | a^* | b^* |
| Tuore porkkana | 55,4±5,0 | 32±4,0 | 40,4±6,1 |
| Tuore palsternakka | 82,4±6,8 | 0,9±1,7 | 19,6±5,9 |

Paistamisen jälkeen pussitetuista porkkanoista mitattiin väriominaisuudet. Päällystetyt ja päällystämättömät olivat vaaleudeltaan (L^*) samaa luokkaa kaikissa aikapisteissä (taulukko 6). Pussitetut päällystetyt porkkanat olivat punaisempia (a^*) kuin päällystämättömät etenkin 4–10 vuorokausien mittauksissa. Pussitettujen porkkanoiden keltaisuus (b^*) vaihteli, ja keltaisimpia olivat kitosaanilla päällystetyt porkkanat.

Taulukko 6. Paistetuista pussitetuista porkkanoista mitatut väriominaisuuksia kuvaavat arvot. L* tarkoittaa vaaleutta ja 0 vastaa mustaa ja 100 valkoista.

| Väriominaisuus | Säilytysaika | SPI ¹⁾ | Kitosaani | HPMC ²⁾ | Päällystämätön |
|----------------|--------------|-------------------|-----------|--------------------|----------------|
| L* | 1 | 53,2±3,2 | 55,5±0,2 | 52,6±0,9 | 58,8±2,4 |
| | 4 | 56,8±4,4 | 59,1±2,2 | 56,7±0,9 | 59,5±5,6 |
| | 7 | 55,8±4,8 | 58,7±1,4 | 56,8±2,9 | 61,9±5,8 |
| | 10 | 50,2±3,3 | 56,6±5,3 | 57,2±2,0 | 59,5±5,0 |
| a* | 1 | 27,8±1,7 | 30,9±5,1 | 30,7±2,6 | 27,2±3,9 |
| | 4 | 24,7±3,0 | 31,9±6,0 | 32,5±3,0 | 20,7±7,1 |
| | 7 | 26,7±6,2 | 32,2±4,2 | 34,6±4,1 | 24,5±4,0 |
| | 10 | 30,3±1,8 | 35,1±3,2 | 30,5±1,1 | 22,0±5,1 |
| b* | 1 | 37,7±4,2 | 39,3±4,2 | 39,3±1,2 | 33,9±5,2 |
| | 4 | 35,0±4,8 | 36,8±4,7 | 39,9±1,6 | 27,8±6,7 |
| | 7 | 36,5±8,3 | 43,3±2,0 | 42,6±2,7 | 35,8±4,0 |
| | 10 | 37,6±2,0 | 45,2±3,1 | 37,4±2,8 | 34,6±1,1 |

¹⁾ SPI soijaproteiini-isolaatti, ²⁾ HPMC hydroksipropyylimetyyliselluloosa

Pussittomat päällystämättömät porkkanat olivat vaaleimpia etenkin 4–10 vuorokauden mittauksissa (taulukko 7). Päällystetyistä porkkanoista kitosaanilla päällystetyt olivat tummimpia ja SPI:lla päällystetyt vaaleimpia. Kaikkien pussittomien porkkanoiden punaisuus väheni selvästi ensimmäisen vuorokauden jälkeen. Pussittomien porkkanoiden keltaisuus väheni ensimmäisen vuorokauden mittauksen jälkeen. Keltaisuus säilyi parhaiten päällystämättömissä.

Taulukko 7. Paistetuista pussittomista porkkanoista mitatut väriominaisuuksia kuvaavat arvot.

| Väriominaisuus | Säilytysaika | SPI | Kitosaani | HPMC | Päällystämätön |
|----------------|--------------|----------|-----------|----------|----------------|
| L* | 1 | 59,0±4,7 | 48,8±6,1 | 53,9±2,7 | 62,3±4,6 |
| | 4 | 37,8±2,8 | 26,4±2,9 | 30,8±1,6 | 45,6±3,5 |
| | 7 | 34,9±1,8 | 24,1±3,3 | 27,4±2,4 | 46,6±2,6 |
| | 10 | 33,3±3,1 | 26,8±3,4 | 31,0±4,9 | 46,7±1,3 |
| a* | 1 | 30,7±8,0 | 25,9±7,1 | 31,5±4,7 | 28,3±2,1 |
| | 4 | 13,4±4,1 | 10,6±2,0 | 7,5±1,4 | 7,9±3,5 |
| | 7 | 10,5±2,0 | 6,0±2,4 | 6,8±0,7 | 9,0±5,5 |
| | 10 | 8,6±1,4 | 5,3±2,2 | 9,4±3,2 | 7,4±0,7 |
| b* | 1 | 42,3±4,4 | 35,2±9,0 | 41,4±3,7 | 37,6±6,6 |
| | 4 | 21,0±4,8 | 9,9±0,9 | 11,1±2,8 | 17,6±4,2 |
| | 7 | 15,4±1,8 | 6,7±2,5 | 9,6±3,1 | 19,6±5,3 |
| | 10 | 12,6±2,3 | 7,6±4,4 | 13,9±6,8 | 19,5±0,5 |

Pussitettujen palsternakkojen vaaleus oli kaikilla samaa luokkaa 1–7 vrk:n mittauksissa (taulukko 8). Kymmenen vuorokauden kohdalla oli havaittavissa eroja, jolloin päällystämättömät olivat vaaleimpia ja tummin HPMC:lla päällystetyt palsternakat. Pussitettujen palsternakkojen punaisuus lisääntyi ajan kuluessa, paitsi päällystämättömien punaisuus pieneni neljännen vuorokauden jälkeen. Palsternakkojen keltaisuus vaihteli eri aikapisteissä ja päällysteillä, joten selvää trendiä ei ollut näkyvissä.

Pussittomat palsternakat olivat 7–10 vuorokauden mittauspisteessä tummempia kuin alussa (taulukko 9). Pussittomista palsternakoista punaisimpia eri aikapisteissä olivat kitosaanilla päällystetyt palsternakat. Pussittomista palsternakoista keltaisin oli kitosaanilla päällystetyt ensimmäisen ja neljännen vuorokauden mittauksissa.

Taulukko 8. Paistetuista pussitetuista palsternakoista mitatut väriominaisuuksia kuvaavat arvot.

| Väriominaisuus | Säilytysaika | SPI | Kitosaani | HPMC | Päällystämätön |
|----------------|--------------|----------|-----------|----------|----------------|
| L* | 1 | 77,2±8,1 | 68,9±5,9 | 74,2±5,9 | 78,2±7,5 |
| | 4 | 72,5±5,0 | 79,1±4,8 | 72,5±4,3 | 75,0±2,1 |
| | 7 | 75,8±5,5 | 71,3±4,0 | 72,0±5,6 | 74,4±2,5 |
| | 10 | 72,9±3,7 | 60,9±5,5 | 56,6±9,9 | 77,3±6,0 |
| a* | 1 | 0,6±0,6 | 2,9±5,7 | -0,6±1,0 | -0,5±0,5 |
| | 4 | 2,2±1,1 | 1,8±2,2 | 4,8±0,9 | 8,0±1,3 |
| | 7 | 3,0±1,3 | 3,0±2,0 | 4,9±3,0 | 2,8±3,3 |
| | 10 | 4,5±0,7 | 9,1±2,9 | 13,1±1,1 | 1,4±2,9 |
| b* | 1 | 24,1±2,5 | 28,1±7,7 | 19,9±4,4 | 21,1±0,6 |
| | 4 | 28,3±2,2 | 24,1±3,4 | 31,9±1,2 | 33,0±2,4 |
| | 7 | 29,5±1,4 | 29,3±3,1 | 28,8±4,7 | 29,6±3,7 |
| | 10 | 30,5±2,1 | 34,9±5,5 | 26,5±2,3 | 28,0±4,8 |

Taulukko 9. Pussittomista ja paistetuista palsternakoista mitatut väriominaisuuksia kuvaavat arvot.

| Väriominaisuus | Säilytysaika | SPI | Kitosaani | HPMC | Päällystämätön |
|----------------|--------------|-----------|-----------|------------------|----------------|
| L* | 1 | 77,1±2,5 | 70,5±2,6 | 76,5±5,7 | 83,6±3,8 |
| | 4 | 53,9±11,9 | 57,2±8,5 | — ⁽¹⁾ | 78,7±6,1 |
| | 7 | 48,5±6,6 | 35,4±4,6 | 41,2±6,2 | 46,1±2,7 |
| | 10 | 41,9±6,6 | 33,6±8,7 | 44,0±6,1 | 48,4±4,5 |
| a* | 1 | 0,9±0,8 | 3,4±3,9 | -0,1±0,8 | -0,2±1,0 |
| | 4 | 11,5±3,4 | 17,5±3,6 | — ⁽¹⁾ | 3,1±3,4 |
| | 7 | 6,4±1,7 | 13,7±1,7 | 10,2±1,6 | 7,1±1,3 |
| | 10 | 7,8±1,4 | 9,8±1,6 | 8,2±2,2 | 6,6±1,4 |
| b* | 1 | 26,7±4,6 | 29,4±5,8 | 21,3±3,4 | 26,2±3,7 |
| | 4 | 25,3±5,2 | 43,0±5,2 | — ⁽¹⁾ | 26,9±3,7 |
| | 7 | 15,5±1,3 | 20,3±4,6 | 22,5±3,4 | 15,7±3,4 |
| | 10 | 16,5±1,3 | 15,2±5,2 | 19,3±6,8 | 16,3±1,5 |

¹⁾HPMC:n tulokset neljännen vuorokauden kohdalla puuttuvat.

3.2.6 Aistinvarainen havainnointi

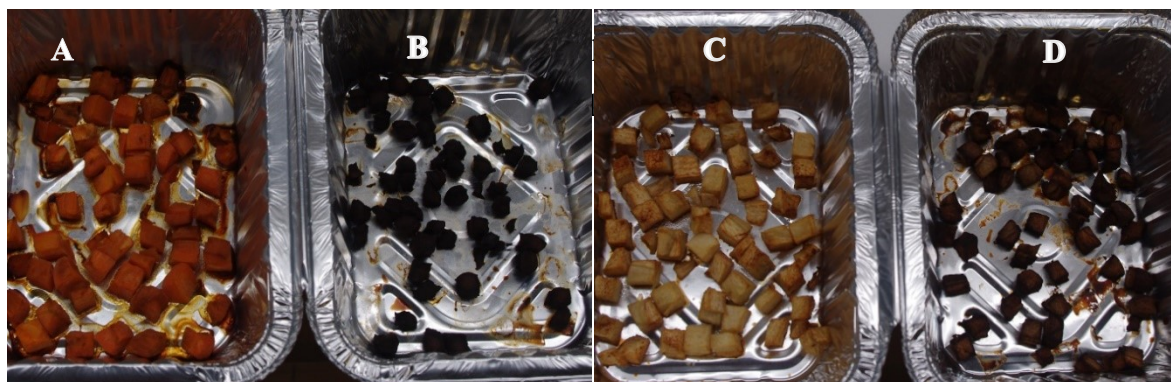
Paistettuja, päällystettyjä ja päällystämättömiä juureksia havainnoitiin arvioimalla ulkonäköä, haistamalla ja maistamalla. Havainnoinnissa kiinnitettiin huomio timjamin tuoksuun ja sen pysyvyyteen juureskuutioissa paistamisen jälkeen. Myös arvioitiin paistamisen tuomaa väriä juureksiin ja niiden syömäkelpoisuutta paistamisen jälkeen.

Soijaproteiini-isolaatilla päällystetyt juurekset

Ensimmäisen vuorokauden kuluessa pussitetuissa soijaproteiini-isolaatilla päällystettyjen porkkanoissa ja palsternakoissa oli havaittavissa vaimeana timjamin tuoksua. Paistettuna suutuntumaltaan molemmat juurekset olivat pehmeitä. Pussittomissa juureksissa ei ollut havaittavissa timjamin tuoksua. Neljännen vuorokauden kohdalla ei ollut enää havaittavissa tuoksua pussitetuissakaan juureksissa. Pussitetut juurekset olivat kuitenkin suutuntumaltaan pehmeitä, kun puolestaan pussittomat olivat kovia. Pussittomat juurekset olivat palaneita ja maultaan kitkeriä. Seitsemännen vuorokauden kohdalla pussitetut juurekset olivat pehmeitä ja niissä oli havaittavissa niiden luontainen maku. Pussittomat juurekset olivat kovia ja palaneita. Vielä kymmenennen vuorokauden kohdalla pussitetut juurekset olivat syötäviä, mutta pussittomat olivat syömäkelvottomia.

Kitosaanilla päällystetyt juurekset

Sekä pussillisissa että pussittomissa kitosaanilla päällystetyissä porkkanoissa oli timjamin tuoksu, mutta myös etikan haju oli tunnistettavissa selvästi ensimmäisen vuorokauden kuluessa. Molemmat olivat suutuntumaltaan pehmeitä ja porkkanan makuisia. Pussillisissa ja pussittomissa palsternakoissa puolestaan oli sekä timjamin että etikan haju vaimeana ja maistuiivat palsternakoilta. Neljännen vuorokauden kohdalla päällystetyt porkkanat ja palsternakat tuoksuivat etikalle, mutta timjamin tuoksua ei ollut havaittavissa. Pussittomat porkkanat ja palsternakat olivat tumman ruskeita, kovia ja palaneen makuisia. Seitsemännen vuorokauden kohdalla sekä pussilliset porkkanat (kuva 17 A) että palsternakat (kuva 17 C) olivat sekä tuoreen näköisiä että tuoreen makuisia. Porkkanoissa oli tunnistettavissa etikan hajua, mutta palsternakoissa ei tätä hajua ollut. Pussittomat juurekset (kuva 17 B ja D) olivat kovia ja palaneita. Kymmenen vuorokauden kohdalla pussilliset porkkanat olivat edelleen syötäviä ja niissä oli etikan hajua, mutta pussittomat olivat palaneita ja kovia. Pussilliset palsternakat olivat kuivakoita syödessä, ja niissä ei ollut etikan tai timjamin hajua. Pussittomat puolestaan olivat tumman ruskeita, palaneita ja pahanmakuisia.



Kuva 13. Kitosaanilla päällystettyjen ja paistettujen juuresten ulkonäkö (säilytys 7 vrk). A on paistettu ja pussitettu porkkana, B on paistettu ja pussiton porkkana, C on paistettu ja pussitettu palsternakka ja D paistettu ja pussiton palsternakka.

HPMC:lla päällystetyt juurekset

Pussitetuissa HPMC:lla päällystetyissä porkkanoissa ja palsternakoissa oli selvästi havaittavissa timjamin tuoksua ensimmäisen vuorokauden tarkastelussa. Juurekset olivat tuoreen makuisia. Pussittomista juureksista porkkanoissa oli timjamin tuoksua, mutta palsternakoissa ei ollut sitä havaittavissa. Neljännen vuorokauden kohdalla juureksissa ei ollut ha-

vaittavissa timjamin tuoksua lainkaan. Pussilliset porkkanat olivat vielä syötäviä, mutta pussittomat olivat palaneita. Pussilliset palsternakat kuivahtaneita, ja pussittomia palsternakkoja ei ollut mukana tässä ajankohdassa. Myös seitsemännen vuorokauden kohdalla ei ollut timjamin tuoksua juureksissa. Pussilliset porkkanat olivat tuoreita, mutta niissä oli kirpeä maku. Pussillisissa palsternakoissa puolestaan oli paahteinen palsternakan maku ja ne olivat tuoreita. Pussittomat juurekset olivat palaneita ja kovia. Kymmenennen vuorokauden tarkastelussa pussilliset porkkanat olivat tuoreita ja syötäviä, mutta pussilliset palsternakat jo kovia. Pussittomat juurekset olivat kovia ja palaneita.

Päällystämättömät juurekset

Yhden vuorokauden säilytyksen jälkeen päällystämättömät porkkanat ja palsternakat olivat pinnaltaan harmahtavia paistamisesta huolimatta. Pussittomat juurekset olivat käpristyneitä ja kuivahtaneita. Neljännen vuorokauden kohdalla pussillisien juuresten pinta näytti kuivuneelta, ja pussittomat olivat osittain palaneita. Pussilliset juurekset olivat mauttomia ja jonkin verran käpristyneitä seitsemännen vuorokauden kohdalla. Puolestaan pussittomat juurekset olivat palaneita ja kovia. Kymmenennen vuorokauden kohdalla pussilliset juurekset olivat kuivakoita ja ruskeita. Pussittomat olivat palaneita ja kovia.

3.3 Pohdinta

Sadonkorjuun jälkeen juurekset alkavat yhteyttämisen sijaan hengittää, jolloin ne kuluttavat hapetta ja tuottavat hiilidioksidia. Juuresten pilkkominen nopeuttaa entisestään hengitystä. Kaasumittausten mukaan soijaproteiini-isolaatilla ja HPMC:lla päällystettyjen porkkanoiden ja palsternakkojen pussin sisäinen happipitoisuus laski ja hiilidioksidipitoisuus nousi. Päällystämättömien porkkanoiden ja palsternakkojen happipitoisuus pysyi lähes muuttumattomana ja hiilidioksidipitoisuus nousi vain hiukan. Kitosaanilla päällystettyjen porkkanoiden pussin sisäinen happipitoisuus pysyi lähes muuttumattomana 10 vuorokauden ajan, ja hiilidioksidipitoisuus alussa nousi mutta väheni säilytysajan loppua kohti ympäristön hiilidioksidipitoisuuden tasolle. Kitosaanilla päällystettyjen palsternakkojen pussin sisäiset kaasupitoisuudet olivat kuitenkin samanlaiset kuin muillakin päällystetyillä juureksilla eli happipitoisuus väheni ja hiilidioksidipitoisuus lisääntyi. Syy kitosaanilla päällystettyjen porkkanoiden pakkauksen sisäisen happipitoisuuden poikkeamiseen muista tuloksista ei ole tiedossa. Syyn selvittäminen vaatisi lisätutkimuksia. Simõesin ym. (2009) havaitsivat tutkimuksessaan, että kitosaanilla päällystettyjen porkkanatikkujen soluhengitys lisääntyi alussa

päällystämättömiin verrattuna kaksinkertaiseksi, mutta kolmen vuorokauden kuluttua kaikkien näytteiden soluhengitys väheni ja saavutti vakaan tason. He tutkivat myös kaasunläpäisyominaisuuksiltaan erilaisiin perforoituihin OPP-pakkauksiin pakattujen päällystettyjen ja päällystämättömien porkkanatikkujen happi- ja hiilidioksidipitoisuuksia. Tutkimuksessa kävi ilmi, että pakkauksen sisälle passiivisesti muodostuva muunneltu ilmakehä vaikutti enemmän soluhengitykseen kuin porkkanan päällyste. Tamerin ja Çopurin (2010) mukaan kitosaanista valmistetut kalvot olivat puoliläpäiseviä päästäten läpi valikoivasti hiilidioksidia ja happea, jolloin ne voivat muodostaa sisäisen ilmakehän. Nämä kalvot läpäisevät kuitenkin helposti vesihöyryä. Syötävät päällysteet eivät ole täysin yhtenäisiä, vaan niissä on pieniä reikiä, joista kaasut pääsevät ulos niiden liukenematta kalvoon (Hagenmaier 2012). Päällysteiden läpäisevyyttä on vaikea mitata. Useimmiten päällysteet hajoavat, jos niitä irrotetaan päällystetyiltä pinnoilta. Päällysteiden läpäisevyys myös muuttuu ajan myötä, kun päällysteen haihtuvat yhdisteet hajoavat hitaasti. Jos päällystemateriaali pystytään valamaan kalvoksi, niin silloin voidaan analysoida sen ominaisuuksia.

Päällysteen tasapaksuisuutta päällystämisen jälkeen ei identifioitu tässä tutkimuksessa, mutta päällystettä oli oletettavasti juuresten pinnalla ohut kerros. Paistamisen vaikutusta päällysteeseen ei pystytty tunnistamaan käytössä olevilla menetelmillä. Samoin päällysteen pysyvyyttä paistamisen jälkeen ei nähty. Kuitenkin mikroskooppikuvista oli nähtävissä esimerkiksi kitosaanilla päällystettyjen porkkanakuutioiden pinnassa kiiltoa, kun taas päällystämättömien porkkanoiden pinta oli täysin kiilloton. Garcian ym. (2002) tutkimuksessa metyyliselluloosalla päällystettyjen uppopaistettujen perunasuikaleiden ja taikinasta valmistettujen kiekkojen päällyste oli nähtävissä paistamisen jälkeen stereomikroskoopilla toluidiinisinivärjäyksen avulla. He tutkivat näytteitä myös pyyhkäisyelektronimikroskoopilla, jolloin päällysteen halkeamat tulivat näkyviin, jos päällystettä valmistettaessa ei käytetty pehmittimiä.

Ennen paistamista kaikki juurekset olivat ulkonäöltään tuoreen näköisiä yhden vuorokauden säilytyksen jälkeen. Päällystetyissä ja pussittomissa juureksissa oli havaittavissa selvää kuivumista jo neljän vuorokauden säilytyksen jälkeen, mutta kaikki pussilliset juurekset olivat vielä tuoreen näköisiä. Säilytyksen edetessä oli havaittavissa pussittomien juuresten selvä kuivuminen ja ne olivat kovia ja kutistuneita jo ennen paistamista. Pussilliset juurekset kaikilla tutkituilla päällysteillä olivat tuoreen näköisiä kaikissa aikapisteissä. Pelkkä päällystys ei riitä pitämään juureksia tuoreina säilytyksen aikana, joten muovipakkausta tarvitaan säilyttämään pilkottujen juuresten kosteus kylmäsäilytyksessä.

Säilyvyyttä mitattaessa painohäviön avulla kävi ilmi, että kitosaanilla päällystettyjen ja pussitettujen porkkanoiden painohäviö oli pienin neljän vuorokauden kohdalla, joten kitosaanipäällysteellä oli jonkin verran vaikutusta kosteuden haihtumisessa. Velickovan ym. (2013) tutkimuksen mukaan kitosaanilla päällystetyt mansikat menettivät seitsemän vuorokauden säilytyksen aikana selvästi vähemmän painoa kuin päällystämättömät mansikat. Painohäviöitä tarkasteltaessa pussilla oli suuri merkitys estämään kosteuden haihtumista. Pussilliset näytteet menettivät enintään 4 % painosta 10 vuorokauden säilytyksen aikana. Pussittomilla näytteillä painohäviö oli 4–10 vuorokauden säilytyksen aikana 50–89 %. Pussittomien päällystettyjen palsternakkojen painohäviö oli neljän vuorokauden kohdalla korkeampi kuin päällystämättömien palsternakkojen. Painohäviön laskemisessa käytettiin alkupainona päällystämisen jälkeen mitattua painoa, jolloin päällysteen liuotin ei ollut täysin haihtunut ja se vaikutti lisäävästi mitattuihin arvoihin. Liuottimen haihtuminen oli havaittavissa päällystykseen jälkeen tehdyssä punnituksessa, sillä vaa'an lukemat eivät pysyneet vakaina. Päällystämättömiä juureksia ei ollut kastettu tässä tutkimuksessa mihinkään liuokseen. Päällystettyjen näytteiden tuloksissa oli hajonta suurta, mikä mahdollisesti myös johtui päällysteen liuottimen osittaisesta haihtumisesta. Zhong ym. (2014) havaitsivat päällystäessään Mozzarella-juustoja kitosaanilla ja soijaproteiinilla, että painohäviö päällystetyllä oli suurempi kuin päällystämättömillä päällysteen märkyyden takia.

Juuresten kovuutta mitattiin paistamisen jälkeen puristuslujuusmittauksella. Rakenteen kovuuden mittaamiseen käytetyllä menetelmällä ei saatu selkeitä eroja päällystettyjen juuresten välille. Sitä vastoin pussittomat juurekset olivat huomattavasti kovempia kuin pussilliset juurekset. Pussittomat juurekset menettivät kosteutensa säilytyksen aikana ja paistamisen jälkeen ne olivat rapeita ja kovia, jolloin ne murtuivat helposti testiä tehtäessä. Pussitetuista juureksista kovimpia olivat päällystämättömät, joten päällysteellä oli jonkin verran vaikutusta juuresten kosteuden säilymiseen. Zhong ym. (2014) havaitsivat päällystettyjen Mozzarella-juustojen kovuuden lisääntyvän kosteuden haihtuessa, ja päällyste hidasti juustojen kovenemista.

Pussittomissa juureksissa paistohäviö oli pienempi kuin pussillisissa, sillä ne olivat menettäneet suurimman osan kosteudestaan jo säilytyksen aikana. Neljän vuorokauden kohdalla kitosaanilla oli pienin paistohäviö pussissa tai ilman pussia säilytetyillä juureksilla. Tämän tuloksen perusteella näyttäisi siltä, että kitosaani pienentää painohäviötä paistamisen aikana, mutta kuitenkin säilytyksen edetessä paistohäviö oli samansuuruista kaikilla päällysteillä. Kuitenkin kitosaanin soveltuvuutta pilkottujen ja paistettujen juuresten päällystämisessä tar-

vitsee lisätutkimuksia. Puolestaan Khazaei ym. (2016) havaitsivat tutkimuksessaan basilikasiemenkumista valmistetun syötävän päällysteen vähentävän kosteuden haihtumista merkittävästi uppopaistettaessa katkarapuja.

Paistettujen juuresten väri muodostuu kolmiväriavaruudesta (L^* , a^* ja b^*), jossa ovat vaaleus (L^*), värisävy eli aistittu väri ja värikylläisyys. Havaittu väri muodostuu näiden kolmen parametrin yhteisvaikutuksesta. Pussittomat päällystämättömät porkkanat olivat 4–10 vuorokauden mittauksissa vaaleampia kuin päällystetyt pussittomat porkkanat saaden L^* -arvoiksi 46–47. Tämä arvo on lähellä $L^* = 50$, joka tarkoittaa värinä keskiharmata. Pussitetut päällystetyt porkkanat olivat punaisempia kuin pussitetut päällystämättömät porkkanat, joten väri säilyi päällystyksen ansiosta, ja juuresten pinta ei kuivunut säilytyksen aikana. Kuivuminen aiheuttaa pilkottujen juuresten pinnan vaalenemista säilytyksen aikana. Avena-Bustillosin ym. (1994) mukaan natriumkaseinaatti-steariinihappoemulsiopäällyste vähensi merkittävästi kuorittujen porkkanoiden vaalenemista. Puolestaan Mei ym. (2002) huomasivat tutkimuksissaan, että ksantaanikumipäällyste vaikutti lähinnä kuorittujen porkkanoiden pinnan säilymiseen kosteana kuin kosteuden haihtumiseen porkkanoista. Pinnan kosteana säilyminen esti kuorittujen porkkanoiden vaalenemisen.

Timjamin aromia oli havaittavissa paistamisen jälkeen ainoastaan yhden vuorokauden säilytyksessä olleissa pussillisissa ja pussittomissa juureksissa. Timjamiöljy eteerisenä öljynä on helposti haihtuvaa, joten se ei pysy päällysteessä etenkin kuumennettaessa. Tämä eteerinen öljy haihtui päällysteen liuottimen mukana uunissa, mutta se haihtui myös jo kylmäsäilytyksen aikana. Eteerinen öljy pitäisi saada kapseloitua päällysteen rakenteeseen, jotta sen pysyvyys lisääntyisi. Tässä tutkimuksessa ei tutkittu eteerisen öljyn jakautumista päällysteen rakenteeseen. Beyki ym. (2014) tutkivat kitosaanista ja kanelihaposta valmistettuun nanogeeliin kapseloituja eteerisiä öljyjä ja havaitsivat niiden haihtuvan 100-prosenttisesti neljässä viikossa. He tutkivat myös eteeristen öljyjen vaikutusta homesienten kasvuun ja havaitsivat niiden estävän homesienten kasvua. Timjamiöljyn antimikrobista vaikutusta ei tutkittu tässä tutkimuksessa, mutta juureksien pilaantumista ei ollut nähtävissä.

4 PÄÄTELMÄT

Kaikki tutkimuksessa mukana olleet päällysteet paransivat juuresten ulkonäköä paistamisen jälkeen, ja ne eivät vaikuttaneet uunijuuresten makuun heikentävästi. Kitosania voidaan pitää potentiaalisena päällysteenä pilkotuille ja paistetuille uunijuureksille tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella, sillä kitosaanilla päällystetyt juurekset menettivät vähiten painoa kylmäsäilytyksen ja paistamisen aikana.

Paistamisen jälkeen mitatuista väriominaisuuksista havaittiin, että pussitetut päällystetyt porkkanat olivat punaisempia kuin pussitetut päällystämättömät porkkanat. Väri säilyi päällystyksen ansiosta, ja juuresten pinta ei kuivunut. Lisäksi kaikki päällystetyt ja pussitetut juurekset näyttivät tuoreilta vielä kymmenen vuorokauden kylmäsäilytyksen jälkeen ennen paistamista.

Päällysteellä ja muovipussilla yhdessä oli positiivinen vaikutus juuresten ulkonäköön ja kosteuteen kylmäsäilytyksessä. Pelkkä päällystys ei riittänyt pitämään juureksia tuoreina säilytyksen aikana, joten muovipakkausta tarvittiin säilyttämään juuresten kosteus. Tämä oli myös havaittavissa säilyvyyttä mitattaessa painohäviön avulla, sillä pussilliset päällystetyt ja päällystämättömät juurekset menettivät kosteutta vain vähän verrattuna pussittomiin juureksiin. Paistettaessa pussittomat juurekset paloivat rapeiksi, koska ne olivat rakenteeltaan kovia ja menettäneet kosteutensa jo kylmäsäilytyksen aikana. Pussitettujen ja päällystettyjen juuresten välille ei saatu selkeitä eroja paistamisen jälkeen rakenteen kovuuksia mitattaessa.

Timjamiöljy eteerisenä öljynä haihtui pois jo säilytyksen aikana, joten sen makua antava ominaisuus jäi vähäiseksi. Timjamiöljyn pysyvyyttä päällysteen rakenteessa tulisi lisätä päällysteen valmistusmenetelmää kehittämällä. Myös sen antibioottista vaikutusta olisi hyvä tutkia.

On haasteellista kehittää pilkotuille ja paistetuille kasviksille sopiva syötävä päällyste. Päällysteen tulee pysyä kasviksen pinnalla ja sen ominaisuudet pitää olla juuri oikeanlaiset kyseiselle kasvikselle ottaen huomioon kasviksen kosteus, soluhengitys, käyttötarkoitus ja paistolämpötilan aiheuttamat muutokset päällysteessä.

LÄHDELUETTELO

- Albert S, Mittal GS. 2002. Comparative evaluation of edible coating to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. *Food Res Int* 35:445-458.
- Ali A, Maqbool M, Ramachandran S, Alderson P. 2010. Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) fruit. *Postharv Biol and Tech* 58:42-47.
- Amorati R, Foti M, Vaglimiglia L. 2013. Antioxidant activity of essential oils. *J Agric Food Chem* 61:10835-10847.
- Andrade R, Skurtys O, Osorio F. 2012. Atomizing spray systems for application of edible coatings. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 11:323-337.
- Arvanitoyannis I. 2002. Formation and properties of collagen and gelatin films and coatings. Teoksessa: Han J, toim. *Innovations in Food Packaging*. London, Iso-Britannia: Academic Press. s 275-304.
- Avena-Bustillos R, Cisneros-Zevallos L, Krochta J, Saltveit M Jr. 1994. Application of casein-lipid edible film emulsions to reduce white blush on minimally processed carrots. *Postharv Biol Tech* 4:319-329.
- Bai J, Baldwin E, Hagenmaier R. 2002. Alternatives to shellac coatings provide comparable gloss, internal gas modification and quality for "Delicious" apple fruit. *Hort Sci* 37:559-563.
- Baldwin E. 2007. Surface treatments and edible coatings in food preservation. Teoksessa: Rahman MS, toim. *Handbook of food preservation*. 2. p. Boca Raton FL, USA: CRC Press. s 477-507.
- Berk Z. 2013. Frying, baking, roasting. Teoksessa: Taylor S, toim. *Food Process Engineering and Technology*. 2 p. Academic Press. s 583-589.
- Beyki M, Zhavah S, Khalil ST, Rahmani-Cherati T, Abollahi A, Bayat M, Bayat M, Tabatabaei M, Mohsenifar A. 2014. Encapsulation of *Mentha piperita* essential oils in chitosan-cinnamic acid nanogel with enhanced antimicrobial activity against *Aspergillus flavus*. *Industrial Crops and Products* 54:310-319.
- Bourlieu C, Guillard V, Vallès-Pamiès B, Gontard N. 2007. Edible moisture barriers for food product stabilization. Teoksessa: Aquilera JM, Lillford P, toim. *Food Engineering Series: Food Materials Science: Principles and Practice*. New York NY, USA: Springer. s 547-575.
- Buffo R, Han J. 2005. Edible films and coatings from plant origin proteins. Teoksessa: Han J, toim. *Innovations in Food Packaging*. London, Iso-Britannia: Academic Press. s 277-300.
- Carlin F, Gontard N, Reich M, Nguyen-The C. 2001. Utilization of zein coating and sorbic acid to reduce *Listeria monocytogenes* growth on cooked sweet corn. *J Food Sci* 66:1385-1389.
- Chen H. 2002. Formation and properties of casein films and coatings. Teoksessa: Gennadios A, toim. *Protein-based films and coatings*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 198-228.
- Choi W, Han J. 2002. Film-forming mechanism and heat denaturation effects on the physical and chemical properties of pea-protein-isolate edible films. *J Food Sci* 67:1399-1406.
- Dea S, Ghidelli C, Pérez-Gago M, Plotto A. 2012. Coatings for minimally processed fruits and vegetables. Teoksessa: Baldwin E, Hagenmaier R, Bai J, toim. *Edible coatings and films to improve food quality*. 2. p. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 243-289.
- Dewettinck K, Huyghebaert A. 1999. Fluidized bed coating in food technology. *Trends Food Sci Technol* 10:163-168.
- Dhall RK. 2013. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 53:435-450.
- Durango AM, Soares NFF, Andrade NJ. 2006. Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control* 17:336-341.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 2/95. Saatavilla: ec.europa.eu/food/fs/sfp/addit_flavor/flav11_en.pdf

- [Evira] Elintarviketurvallisuusvirasto. 2014. Elintarviketieto-opas elintarvikevalvojille ja elintarvikealan toimijoille. Eviran ohje 17068/1. Saatavilla: www.webapps_webapps_evira_5_data_products_1422862165990_eviran_ohje_17068_1.fi.pdf.
- Fakhouri FM, Maria Martelli S, Caon T, Velasco JI, Innocentini Mei LH. 2015. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crison grapes. *Postharv Biol Tech* 109:57-64.
- Fellows PJ. 2009. Baking and roasting. Teoksessa: Food processing technology. Principles and practice. 3. p. Boca Raton FL USA: CRC Press. s 538-551.
- Fernández-Pan I, Maté Caballero J. 2011. Biopolymers for edible films and coatings in food applications. Teoksessa: Plackett D, toim. Biopolymers: New material for sustainable films and coatings. John Wiley & Sons. s 233-254.
- Galgano F, Condelli N, Favati F, Di Bianco V, Perretti G, Caruso MC. 2015. Biodegradable packaging and edible coating for fresh-cut fruits and vegetables. *Italian J Food Sci* 27:1-20.
- Galus S, Kadzińska J. 2016. Moisture sensitivity, optical, mechanical and structural properties of whey protein-based edible films incorporated with rapeseed oil. *Food Technol Biotechnol* 54:78-89.
- Garcia MA, Ferrero C, Bértola N, Martino M, Zaritzky N. 2002. Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. *Innov Food Sci Emerg Tech* 3:391-397.
- Garcia MA, Ferrero C, Campana A, Bértola N, Martino M, Zaritzky N. 2004. Methylcellulose coatings applied to reduce oil uptake in fried products. *Food Sci Tech Int* 10:339-346.
- Gniewosz M, Kraśniewska K, Kosakowska O. 2013. Antimicrobial activity of a pullulan-caraway essential oil coating on reduction of food microorganisms and quality in fresh baby carrots. *J Food Sci* 78:1242-1248.
- Gontard N, Guilbert S, Cuq JL. 1993 Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *J Food Sci* 58:206-211.
- Guilbert S, Gontard N, Gorris L. 1996. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *LWT Food Sci Techn* 29:10-17.
- Guilbert S, Gontard N, Morel MH, Chalier P, Micard, V, Redl A. 2002. Formation and properties of wheat gluten films and coatings. Teoksessa: Gennadios A, toim. Protein-Based Films and Coatings. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 69-121.
- Guldas M, Akpinar-Bayizit A, Ozcan T, Yilmaz-Ersan L. 2010. Effects of edible film coatings on shelf-life of mustafakemalpasa sweet, a cheese based dessert. *J Food Sci Techn* 47:476-481.
- Gutierrez J, Bourke P, Lonchamp J, Barry-Ryan C. 2009. Impact of plant essential oils on microbiological, organoleptic and quality markers of minimally processed vegetables. *Innov Food Sci Emerg Techn* 10:195-202.
- Hagenmaier R. 2012. Gas-exchange properties of edible films and coatings. Teoksessa: Baldwin E, Hagenmaier R, Bai J, toim. Edible coatings and films to improve food quality. 2. p. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 137-155.
- Hall D. 2012. Edible coatings from lipids, waxes and resins. . Teoksessa: Baldwin E, Hagenmaier R, Bai J, toim. Edible coatings and films to improve food quality. 2. p. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 79-101.
- Han J, Gennadios A. 2005. Edible films and coatings: a review. Teoksessa: Han J, toim. Innovation in Food Packaging. San Diego, USA: Elsevier Academic Press. s 239-262.
- Jost V, Kobsik K, Schmid M, Noller K. 2014. Influence of plasticizer on the barrier, mechanical and grease resistance properties of alginate cast films. *Carbohydr Polymer* 110:309-319.
- Karbowiak T, Debeaufort F, Voilley A. 2007. Influence of thermal process on structure and functional properties of emulsion-based edible films. *Food Hydrocoll* 21:879-888.
- Khan MKI, Cakmak H, Tavman S, Schutyser M, Schroën. 2014. Anti-browning and barrier properties of edible coatings prepared with electrospraying. *Innov Food Sci Emerg Techn* 25:9-13.

Kotimaiset kasvikset ry. Kasvisten määrittely [sähköinen julkaisu]. Saatavilla: <http://www.kasvikset.fi/kasvitieto/kasvisten-maarittely>.

Kowalczyk D, Baraniak B. 2011. Effect of plasticizers, pH and heating of film-forming solution on the properties of pea protein isolate films. *J Food Eng* 105:295-305.

Krochta JM. 2002. Proteins as raw materials for films and coatings: Definitions, current status and opportunities. Teoksessa: Gennadios A, toim. Protein-based films and coatings. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 1-41.

Lacroix M, Cooksey K. 2005. Edible films and coatings from animal-origin proteins. Teoksessa: Han J, toim. Innovations in Food Packaging. London, Iso-Britannia: Academic Press. s 301-317.

Lee S-J, Umamo K, Shibamoto T, Lee K-G. 2005. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chem* 91:131-137.

Li P, Barth M. 1998. Impact of edible coating on nutritional and physiological changes in lightly-processed carrots. *Postharv Biol Tech* 14:51-60.

Maftoonazad N, Ramaswamy HS, Moalemiyan M, Kushalappa AC. 2007. Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasiodiplodia theobromae* infection. *Carbohydr Polym* 68:341-349.

Mali S, Grossmann MV, Garcia M, Martino M, Zaritzky. 2002. Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydr Polym* 50:379-386.

Mallikarjunan P, Chinnan MS, Balasubramaniam VM, Phillips RD. 1997. Edible coating for deep-fat frying of starchy products. *LWT* 30:709-714.

McHugh T, Avena-Bustillos R. 2012. Applications of edible films and coatings to processed foods. Teoksessa: Baldwin E, Hagenmaier R, Bai J, toim. Edible coatings and films to improve food quality. 2. p. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 291-318.

Mei Y, Zhao Y, Yang J, Furr HC. 2002. Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots. *J Food Sci* 5:1964-1968.

Mellinas C, Valdés A, Ramos M, Burgos N, Garrigós MDC, Jiménez A. 2016. Active edible films: Current state and future trends. *J App Polymer Sci* 2:1-15.

Mohammadi A, Hashemi M, Hosseini S. 2016. Postharvest treatment of nanochitosan-based coating loaded with *Zataria multiflora* essential oil improves antioxidant activity and extends shelf-life of cucumber. *Innov Food Sci Emerg Techn* 33:580-588.

Myllärinen P, Buleon A, Lahtinen R, Forsell P. 2002. The crystallinity of amylose and amylopectin films. *Carbohydr Polym* 48:41-48.

Ojagh SM, Rezaei M, Razavi SH, Hosseini SMH. 2010. Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chem* 122:161-166.

Olivas GI, Barbosa-Cánovas GV. 2005. Edible coatings for fresh-cut fruits. *Crit Rev Food Sci and Nutr* 45:657-670.

Padua G, Wang Q. 2002. Formation and properties of corn zein films and coatings. Teoksessa: Gennadios A, toim. Protein-based films and coatings. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 43-68.

Park S, Hettiarachchy N, Ju Z, Gennadios A. 2002. Formation and properties of soy protein films and coatings. Teoksessa: Gennadios A, toim. Protein based films and coatings. Boca Raton, FL, USA: CRC press. s 123-137.

Park S, Zhao Y. 2004. Incorporation of a high concentration of mineral or vitamin into chitosan-based films. *J Agric Food Chem* 52:1933-1939.

Pérez-Gago M. 2012. Protein-based films and coatings. Teoksessa: Edible coating and films to improve food quality. Bai J, Baldwin E, Hagenmaier R, toim. 2. p. CRC Press. s 13-77.

- Pérez-Gago M, Krochta JM. 2005. Emulsion and bi-layer edible films. Teoksessa: Han J, toim. Innovations in Food Packaging. London, Iso-Britannia: Academic Press. s 384-402.
- Pérez-Gago M, Nadaud P, Krochta J. 1999. Water vapor permeability, solubility, and tensile properties of heat-denatured versus native whey protein films. *J Food Sci* 64:1034-1037.
- Petriccione M, Mastrobuoni F, Pasquariello M, Zampella L, Nobis E, Capriola G, Scortichini M. 2015. Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. *Foods* 4:501-523.
- Rayner M, Ciolfi V, Maves B, Stedman P, Mittal GS. 2000. Development and application of soy-protein films to reduce fat intake in deep-fried foods. *J Sci Food Agric* 80:777-782.
- Rhim JW, Shellhammer T. 2005. Lipid-based edible films and coatings. Teoksessa: Han J, toim. Innovations in Food Packaging. London, Iso-Britannia: Academic Press. s 362-383.
- Riveros C, Nepote V, Grosso N. 2016. Thyme and basil essential oils included in edible coatings as a natural preserving method of oilseed kernels. *J Sci Food Agric* 96:183-191.
- Rodríguez-Calleja JM, Cruz-Romero MC, O'Sullivan MG, García-López ML, Kerry JP. 2012. High pressure-based hurdle strategy to extend the shelf-life of fresh chicken breast fillets. *Food Control* 25:516-524.
- Rojas-Graü MA, Raybaudi-Massilia R, Soliva-Fortuny R, Avena-Bustillos R, McHugh T, Martín-Belloso O. 2007. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharv Biol Tech* 45:254-264.
- Rojas-Graü MA, Salvia-Trujillo L, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. 2012. Edible films and coatings. Teoksessa: Gómez-Cópez V, toim. Decontamination of fresh and minimally processed produce. John Wiley & Sons. s 247-275.
- Rojas-Graü MA, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. 2011. Use of edible coatings for fresh-cut fruits and vegetables. Teoksessa: Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny R, toim. Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 285-310.
- Rossi Marquez G, Di Pierro P, Esposito M, Mariniello L, Porta R. 2014. Application of transglutaminase-crosslinked whey protein/pectin films as water barrier coatings in fried and baked foods. *Food Bioprocess Technol* 7:447-455.
- Roudaut G, Debeaufort F. 2010. Moisture loss, gain and migration in food and its impact on food quality. Teoksessa: Skibsted L, Risbo J, Andersen M, toim. Chemical deterioration and physical instability of food and beverages. Woodhead Publishing Ltd. CRC Press. s 143-184.
- Salvia-Trujillo L, Rojas-Graü MA, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. 2015. Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut *Fuji* apples. *Postharv Biol Tech* 105:8-16.
- Shon J, Haque Z. 2007. Efficacy of sour whey as a shelf-life enhancer: use in antioxidative edible coatings of cut vegetables and fruit. *J Food Quality* 30:581-593.
- Silva-Weiss A, Ihl M, Sobral PJA, Gómez-Guillén MC, Bifani V. 2013. Natural additives in bioactive edible films and coatings: functionality and applications in foods. *Food Eng Rev* 5:200-216.
- Simões A, Tudela J, Allende A, Puschmann R, Gil M. 2009. Edible coatings containing chitosan and moderate modified atmospheres maintain quality and enhance phytochemicals of carrot sticks. *Postharv Biol Tech* 51:364-370.
- Soaza M, Rubiolo AC, Verdini RA. 2011. Effect of drying temperature and beeswax content on moisture isotherms of whey protein emulsion film. *ICEF11, Procedia Food Sci* 1:210-215.
- Soliva-Fortuny R, Rojas-Graü MA, Martín-Belloso O. 2012. Polysaccharide coatings. Teoksessa: Edible coating and films to improve food quality. Bai J, Baldwin E, Hagenmaier R, toim. 2. p. CRC Press. s 103-136.
- Sothornvit R, Krochta J. 2005. Plasticizers in edible films and coatings. Teoksessa: Han J, toim. Innovations in Food Packaging. London, Iso-Britannia: Academic Press. s 403-433.
- Sothornvit R, Olsen CW, McHugh T, Krochta J. 2003. Formation conditions, water-vapor permeability and solubility of compression-molded whey protein films. *J Food Sci* 68:1985-1989.

- Tamer CE, Çopur ÖU. 2010. Chitosan: an edible coating for fresh-cut fruits and vegetables. *Acta Hort* 877:619-625.
- Tanada-Palmu P, Helén H, Hyvönen L. 2000. Preparation, properties and applications of wheat gluten edible films. *Agric Food Sci Finland* 9:23-35.
- Vargas M, Pastor C, Chiralt A, McClements J, Gonzáles-Martínez C. 2008. Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Crit Rev Food Sci Nutr* 48:496-511.
- Velickova E, Winkelhausen E, Kuzmanova S, Alves V, Moldão-Martins M. 2013. Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT-Food Sci Techn* 52:80-92.
- Villalobos R, Chanona J, Hernández P, Gutiérrez G, Chiralt A. 2005. Gloss and transparency of hydroxypropyl methylcellulose films containing surfactants as affected by their microstructure. *Food Hydrocoll* 19:53-61.
- Vu KD, Hollingsworth, Leroux E, Salmieri S, Lacroix M. 2011. Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. *Food Res Int* 44:198-203.
- Waglay A, Karboune S. 2016. Potato proteins: functional food ingredients. Teoksessa: *Advances in potato chemistry and technology*. Singh J, Kaur L, toim. 2. p. London, UK: Academic Press. s 75-104.
- Weiss J, Takhistov P, McClements J. 2006. Functional materials in food nanotechnology. *J Food Sci* 71:107-116.
- Wu Y, Rhim JW, Weller CI, Hamouz F, Cuppett S, Schnepf M. 2000. Moisture loss and lipid oxidation for precooked beef patties stored in edible coatings and films. *J Food Sci* 65:300-304.
- Zhao Y. 2012. Application of commercial coatings. Teoksessa: *Edible coating and films to improve food quality*. Bai J, Baldwin E, Hagenmaier R, toim. 2. p. CRC Press. s 319-331.